

令和 6 年 6 月 18 日現在

機関番号：32102

研究種目：若手研究

研究期間：2022～2023

課題番号：22K17808

研究課題名（和文）運動時fMRIで探る超低強度運動が気分と認知を高める脳内メカニズム

研究課題名（英文）Neural mechanisms of the effects of very light intensity exercise on mood and cognitive function: an fMRI study

研究代表者

諏訪部 和也（SUWABE, Kazuya）

流通経済大学・スポーツ健康科学部・准教授

研究者番号：80816413

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：運動、特に超低強度（very light intensity）の有酸素運動が気分や認知機能などのメンタルヘルスに有益であることが明らかになりつつある。その脳内メカニズムは未解明であるが、運動時に運動関連領域だけでなく、海馬や前頭前野など認知関連領域の活動パターンが調節される可能性がある。本研究は、MRI対応エルゴメータを用いた運動時及び運動前後のfMRI計測からこの仮説の検証を試みた。体動による影響から運動時の分析は困難であったが、体動の大きかった者を除外し、運動前後を対象にした分析から、海馬と認知・運動関連領域を含む他の領域との機能的結合は、運動前と比較して運動後に強化される傾向が見られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

超低強度運動が気分や認知機能を高める脳内メカニズムに関して、運動時の脳活動計測では信頼できるデータの取得、分析には至らなかったが、運動前後のデータを用いた分析から、仮説を一部支持する結果が得られた。これらの成果は、認知機能に対する運動効果の脳内メカニズム解明に向けた研究を加速させると同時に、運動時の脳活動計測に関する研究を進める上で貴重な知見となり得る。

研究成果の概要（英文）：The beneficial effects of physical exercise, particularly very light-intensity aerobic exercise, on mental health, including mood and cognitive function, are gradually becoming evident. Although the neural mechanisms underlying these effects have not yet been elucidated, exercise may modulate activity patterns not only in exercise-related areas but also in cognitively related areas such as the hippocampus and prefrontal cortex. The present study tried to test this hypothesis based on fMRI measurements during and before/after exercise using an MRI-compatible ergometer. Although it was difficult to analyze during exercise due to the effects of head motion, the analysis of pre- and post-exercise, excluding those with greater head motion, showed that the functional connectivity between the hippocampus and other regions, including cognitive and motor-related regions, tended to be enhanced after exercise compared with before exercise.

研究分野：スポーツ神経科学

キーワード：超低強度運動 気分 認知機能 MRI

## 1. 研究開始当初の背景

運動が気分や認知機能などのメンタルヘルスに有益であることが明らかになりつつあるが、最適運動条件や作用機序は未解明である。申請者らは、運動、特に超低強度 (very light intensity, 最大酸素摂取量の 37%以下) の有酸素運動が海馬や前頭前野の認知機能を高める効果を明らかにしてきた (Suwabe ら, *PNAS*, 2018)。想定される脳内メカニズムの一つとして、超低強度運動時には単に運動野や体性感覚野、運動前野などの運動実行に関わる脳部位が賦活するだけでなく、海馬や前頭前野のような主に認知機能を担うとされる脳内ネットワークの活動パターンも変化し、その影響が運動後も残存することで気分や認知機能が向上する可能性が考えられる。

Steventon らは、MRI-ASL 法を用いて 20 分間の中強度運動後の脳血流動態を測定し、運動終了後に海馬特異的に血流が増大し、この状態が少なくとも運動終了後 60 分間持続することを報告している (Steventon ら, *Cereb Cortex*, 2019)。さらに、動物研究では、ストレス反応を伴わない低強度運動でも十分に海馬の神経細胞が活性化し、神経活動に伴う海馬の局所的な血流が増加することが明らかにされている (Nishijima & Soya, *Neurosci Res*, 2006; Soya ら, *BBRC*, 2007)。これらの研究結果は、超低強度運動時には単に運動関連領域が活性化するだけでなく、海馬や前頭前野などの気分や認知に関わるとされる脳領域の活動が調節されることで、運動後の機能向上が生じる可能性を示唆する。

この仮説の検証には、運動中および運動前後の脳活動評価が必須あるが、運動時のヒトの脳活動計測は多くの技術的課題から信頼できる先行研究に乏しい。fMRI により運動時の脳活動を計測した研究は、主に手指のタッピング運動や握力発揮運動、足関節の回転運動など、手や足のごく限られた範囲の運動を対象にしており、脚部のダイナミックな運動時の脳活動計測を試みた研究はこれまで 10 報前後である。これらの研究では、数秒程度のごく短い時間の運動を行わせており、酸素摂取量が増大するような持続的運動時の脳活動についてはこれらの研究からは不明である。唯一、ブラジルの研究グループは比較的持続時間が長いペダリング運動時 (30~120 秒) の脳活動を計測しており、運動時には運動野、体性感覚野、運動前野、補足運動野、小脳などの運動関連領域の活動が増加する一方、海馬や前頭前野背外側部の活動は減少することを報告しており興味深い (Fontes ら, *Br J Sports Med*, 2013; 2020)。ただし、この研究では、運動負荷を厳密に規定できていない点や頭部の動きの抑制が十分でない点、運動に伴う生理パラメータの変化を制御できていない点など、信頼性・妥当性に関わる問題点も多い。

## 2. 研究の目的

本研究は、機能的 MRI (fMRI) と MRI 対応非磁性体エルゴメータを用いて運動時及び運動前後の脳活動パターンを評価し、気分や認知機能を高める超低強度運動の効果の脳内メカニズムを明らかにすることを目的に行われた。

## 3. 研究の方法

実験は、MRI 計測は行わず、運動前後の認知機能の変化を測定する認知実験と、運動時の MRI 計測を行う MRI 実験の 2 つの実験を別日に実施した。実験参加者は、健常若齢男性 21 名とし、どちらの実験も同一の被験者を対象とした。

【認知実験】10 分間の超低強度運動の前後に 2 次元気分尺度 (TDMS) 及び類似物体を用いた再認課題を課し、気分及び海馬の記憶機能の変化を測定した。加えて、脳幹を起点とした神経調節系のマーカーとして、アイトラッキングシステムにより瞬目率や瞳孔径を計測した。

【MRI 実験】MRI 対応エルゴメータを用いて 12 分間の運動を行った。運動強度を被験者ごとに正確に規定するため、事前の運動負荷試験により VO<sub>2</sub>peak を測定し、その 30% (超低強度) になるように運動負荷を決定した。体動ノイズを抑制するため、確立した手法により頭部を固定し、運動前・運動中・運動後に全脳を EPI 法により撮像した。運動前後の気分を二次元気分尺度 (TDMS) により測定した。

## 4. 研究成果

超低強度運動により覚醒度と快適度は向上した (図 1A)。一方、記憶課題の成績には有意な変化は認められなかった (図 1B)。

MRI データについて、フレーム変位 (Framewise displacement; FD) から頭部の動きを評価したところ、ペダリング運動中 (10 分間) は比較的大きな体動の目安となる FD = 0.5 程度の体動が常に生じることが明らかになった (図 2A)。また、頭部の動きが基準値以上 (FD > 0.5) だった割合の平均値は、ペダリング運動中で 50% 以上であり、頭部固定を行った場合でも、MRI データは運動時の体動による影響を強く受けることが明らかになった (図 2B)。

運動中の分析、加えて全例を対象とした分析は困難であると判断し、運動前と運動後において、区間の 10% 以上でフレーム変位 (Framewise displacement; FD) が 0.5 以上だった者を除外し、体動の少ない者 (N=10) を対象に限定的な分析を行った。その結果、海馬と認知・運動関連領域を含む他の領域との機能的結合は、運動前と比較して運動後に強化される傾向が見られた (図 3)。

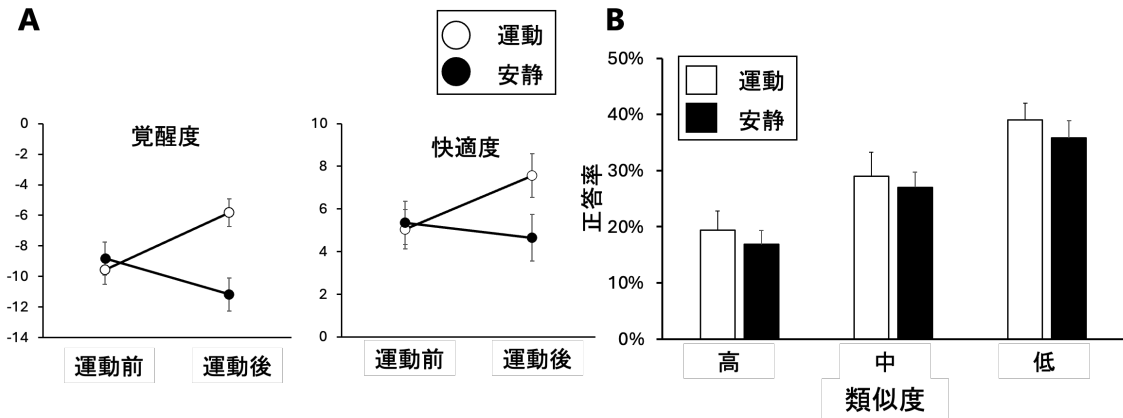


図 1 (A) 運動前後の気分の変化 (B) 類似度別にみた記憶課題成績

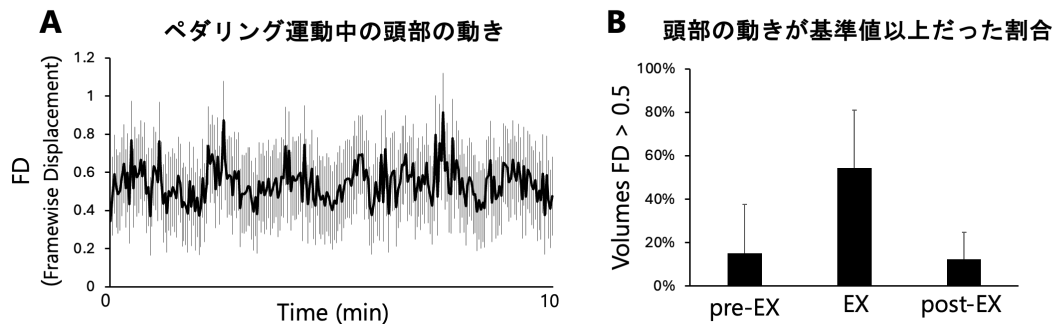


図 2 (A) フレーム変位から評価したペダリング運動中の頭部の動き (B) 頭部の動きが FD 0.5 以上の割合

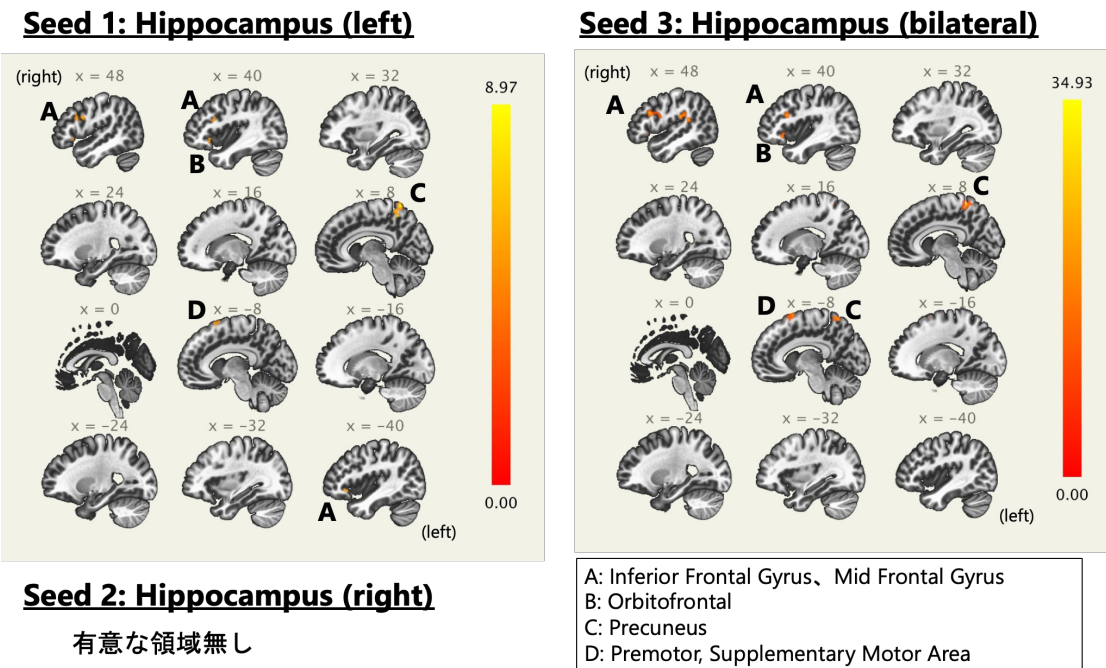


図 3 頭部の動きが比較的少ない者 (N=10) に限定した場合の分析結果  
Seed to Voxel analysis (pre-EX < post-EX), voxel threshold  $p < 0.001$  (uncorrected), cluster threshold  $p < 0.05$ .

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3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 3件）

1. 著者名 Kuwamizu Ryuta, Yamazaki Yudai, Aoike Naoki, Ochi Genta, Suwabe Kazuya, Soya Hideaki	4. 巻 72
2. 論文標題 Pupil-linked arousal with very light exercise: pattern of pupil dilation during graded exercise	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Journal of Physiological Sciences	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） 10.1186/s12576-022-00849-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Ochi Genta, Kuwamizu Ryuta, Suwabe Kazuya, Fukuie Takemune, Hyodo Kazuki, Soya Hideaki	4. 巻 12
2. 論文標題 Cognitive fatigue due to exercise under normobaric hypoxia is related to hypoxemia during exercise	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-022-14146-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Fukuie Takemune, Suwabe Kazuya, Kawase Satoshi, Shimizu Takeshi, Ochi Genta, Kuwamizu Ryuta, Sakairi Yosuke, Soya Hideaki	4. 巻 12
2. 論文標題 Groove rhythm stimulates prefrontal cortex function in groove enjoyers	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-022-11324-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 山崎雄大、李東旻、諏訪部和也、越智元太、青池直樹、桑水隆多、征矢英昭
2. 発表標題 軽度低酸素による海馬機能変化はSpO2低下に依存する
3. 学会等名 第77回日本体力医学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kazuya Suwabe, Atsuko Nagano-Saito, Yudai Yamazaki, Ryuta Kuwamizu, Akira Matsushita, Morimasa Kato, Kenji Suzuki, Hideaki Soya
2. 発表標題 Human brain activity during very light intensity exercise using MRI- compatible ergometer: the second preliminary analysis
3. 学会等名 ARIHHP Human High Performance Forum 2023
4. 発表年 2023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