

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 28 日現在

機関番号：82663

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K20138

研究課題名（和文）高齢者のワーキングメモリを高める運動条件とその脳内機構の解明

研究課題名（英文）Elucidation of exercise conditions and underlying brain mechanisms for enhancing working memory in the older adults

研究代表者

兵頭 和樹（Hyodo, Kazuki）

公益財団法人明治安田厚生事業団体力医学研究所・その他部局等・研究員（移行）

研究者番号：60782563

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）：本研究では、一過性および習慣的な運動が高齢者のワーキングメモリ(WM)に与える影響とその脳内機構を、近赤外光脳機能イメージング装置（fNIRS）を用いて検証した。一過性の中強度ペダリング運動（10分）は、予備的な検討ではあるが（ $n = 6$ ）、課題中の前頭前野を活性化させ、高齢者のWM成績を高める方向性が見られた。また、3ヶ月間の軽体操教室（1回20分、週5回）は、高齢者のWM成績には影響を与えないが、脳活動を効率化する結果が得られた。よりWMへの効果の高い運動条件探索に向けて、運動期間や運動様式などを変えた検証が求められる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

多くの研究が運動による高齢者の認知機能の維持増進効果を報告しているが、ワーキングメモリ（WM）への効果に関しての報告数が少なく、どのような運動条件が効果的か、またそのメカニズムは明らかではなかった。本研究課題において、3ヶ月間の短時間低強度運動（軽体操）の実践ではWMの課題成績は高まらないが、効率的に前頭前野を動員して課題を遂行できるようになる可能性が示された。本成果から、WMを高める運動条件の確立には至らなかったが、運動が高齢者のWMに与える影響に関する一つの知見となると考えられる。今回の結果を基に、さらなる研究が求められる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we examined the effects of acute and chronic exercise on working memory (WM) performance and its brain mechanisms using functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) in the older adults.

Although preliminary study ($n = 6$), we found that an acute bout of moderate intensity cycling exercise enhanced the task-related prefrontal activation and WM performance in the older adults. In addition, three months of aerobic dance exercise did not affect WM performance in the older adults, but task-related prefrontal activation became more efficient. Further examination of the effects of different exercise periods, exercise modes, etc. is required to search for exercise conditions that are more effective for WM in the older adults.

研究分野：スポーツ神経科学

キーワード：高齢者 低強度運動 実行機能 ワーキングメモリ 作業記憶 前頭前野 近赤外線分光法 fNIRS

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

加齢に伴って様々な認知機能は低下するが、中でもワーキングメモリは低下しやすい機能の一つである。WM は、情報を一時的に記憶し操作する認知機能である (例: 料理に必要な食材を覚えながら買い物するなど)。会話や学習、論理的思考といった能力の基盤であり、高齢期の自立した生活に必須の脳機能である。

WM を含む認知機能を、高齢期においても維持・向上させる生活習慣として、有酸素運動の効果が多く報告されている。しかし、長期記憶や抑制機能への運動効果に比べると WM に関する研究は乏しい。先行研究では、習慣的な運動による WM 向上が報告されている (Albinet ら, 2016) が、系統的レビューでは当該領域研究の少なさが問題視されている (Rathore ら, 2017)。そのため、WM を高める運動条件や、その脳内メカニズムは不明な点が多かった。

2. 研究の目的

本研究は、一過性および長期の運動が高齢者の WM に与える効果とその脳内機構を、WM が担う前頭前野に着目し、近赤外線分光法装置 (fNIRS) を用いて明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

本研究期間中、コロナウイルスの流行に伴い実験室で高齢者を長時間拘束する研究が困難になったため、一過性の運動効果を検証する実験は途中で中断し、オンラインを活用して自宅でおこなう定期的な運動実践が WM に与える影響の検証を中心におこなった。したがって、以下の3つの実験をおこなった。

<実験 1> 一過性の中強度運動が高齢者の WM に与える効果の予備的検討

(1) 参加者

認知機能が正常な健常高齢者 6 名 (70.3±3.1 歳、女性 4 人) が参加した。

(2) 実験手順

中強度 (換気性作業閾値強度) の自転車運動を 10 分おこなう条件 (EX) と、運動せずに安静を保つコントロール条件 (CTL) に日を分けて参加した。どちらの条件も、運動または安静の前後にワーキングメモリ (WM) を評価する N-back 課題をおこない、その際の前頭前野の脳活動を島津社製の fNIRS (FOIRE-3000)

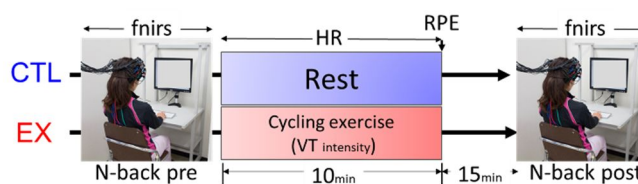


図 1. 実験プロトコル

を用いて測定した (図 1)。N-back 課題はひらがなが 1 文字ずつランダムに提示され、WM の負荷がない 0-back ("あ" が出たときにキーを押す)、中程度の負荷の 2-back (2 つ前の文字と同じ時に押す)、高い負荷の 3-back (3 文字前のときと同じ時に押す) が各 2 ブロックずつランダムに出題され、それぞれの負荷条件で反応時間 (RT) および正解率 (CR) を評価した。fNIRS は前頭前野をおおむねようにホルダーを設置し、左右半球で 24ch ずつ測定をし、前頭前野背外側部 (DLPFC)、腹外側部 (VLPFC)、前頭極 (FPA) に位置するチャンネルのデータを平均して各部位ごとに解析をおこなった。

<実験 2> オンラインを活用した自宅での低強度運動教室の実行可能性検証

(1) 参加者

地域在住の 65 歳以上の自立高齢者 16 名 (女性 13 人、平均年齢 77.6 (68-87) 歳) が参加した。

(2) 実験手順

研究参加者は、2/1 から 3/26 の 8 週間、平日 (月 ~ 金)、午前 8:30 ~ 8:50 の 20 分間、iPad と Zoom を使った Web での運動教室に自宅から参加した。機器は、運動教室の一週間前に各家庭に設置して使い方を説明した。教室内容は準備運動 5 分間、本運動 10 分間、整理運動 5 分間とし、本運動は低強度の音楽に合わせたリズム体操 (スローエアロビック) とし、指導は (公社) 日本エアロビック連



図 2. 運動教室の様子

盟に所属するインストラクター 3 名が日替わりで行った (図 2)。

実行可能性として、教室参加の遵守率と継続率を評価した。また、運動教室の楽しさに関して、定期的な電話インタビュー (1, 3, 6, 8 周目の終わりに実施) 時に 11 件法で評価した。運動教室中の運動強度は前腕に心拍計 (OH10, polar) を装着して運動をしてもらい、共同研究先と自作した

アプリでデータをオンライン上で取得することで評価した。

<実験 3> 3 ヶ月間のオンライン低強度運動教室が高齢者の WM に与える影響とその脳内機構

(1) 参加者

地域在住の 60 歳以上の自立高齢者を八王子生活保健協同組合の広報や口コミを通して募集して、93 名の高齢者が実験に参加した。

(2) 実験手順

運動教室群は、実験 2 と同様に週 5 日 (月～金)、毎朝 20 分間の zoom を使ったオンライン運動教室に 3 ヶ月間参加した。通常生活群はウェイトコントロールとして介入をおこなわず通常の生活を送り、ポスト測定後に同様の介入を実施した。

3 ヶ月間の介入前後に、0-back と 2-back 条件からなる言語性 n-back 課題を実施し、その際の前頭前野の脳活動を Artinis 社製の携帯型 fNIRS (Brite24) を用いて測定した。

4. 研究成果

<実験 1> 一過性の中強度運動が高齢者の WM に与える効果の予備的検討

(1) 運動強度

EX 条件における心拍数 (HR) は 100.1 ± 17.0 bpm, RPE は 12.3 ± 0.76 であり、中強度の運動であることが確認された。

(2) 課題成績

N-back 課題成績では、0~3back 条件の反応時間および正解率に関して、EX 条件の変化と CTL 条件の変化を対応のある T 検定で比較した。その結果、有意な変化が見られる項目はなかったが、2-back の反応時間および 3-back の正解率において、条件間で中程度の効果量が見られ、運動条件で WM 負荷の高い課題で反応時間が短縮し、正解率が高まる傾向が見られた (図 3)。

(3) 脳活動

N-back 課題中の脳活動も、それぞれの部位ごとに条件間の変化を T 検定で比較した。条件間の変化に有意な違いは見られなかったが、2-back 中の左 DLPFC の活動および 3-back 中の左脳の DLPFC、VLPFC の活動において強い効果量が見られ、前頭前野の脳活動は CTL 条件に比べて運動条件において高まる傾向が見られた (図 4)。

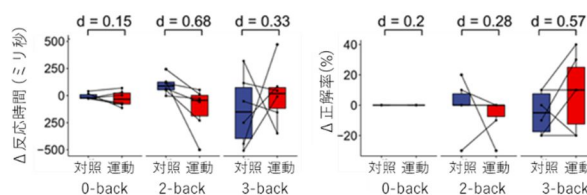


図 3. N-back 課題成績の変化

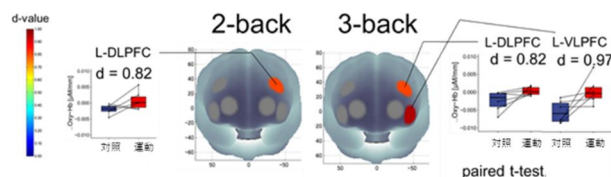


図 4. N-back 課題中の脳活動の変化

本研究において、一過性の中強度運動は高齢者の WM を高める有意な効果は確認できなかった。しかし、効果量では、EX 条件は CTL 条件に比べて WM の負荷が高い 2-back、3-back 条件において反応時間の短縮や正解率の増加に中程度の効果が見られるとともに、脳活動においても言語性の WM に重要な役割を担う左前頭前野の活動増加に関して中程度の効果が見られた。したがって、一過性の中強度運動は WM に重要な脳部位を活性化させて WM を高める可能性が示唆される。今後、対象者数を増やすなどの追加実験を行い、より精度の高い効果検証を行う必要がある。

<実験 2> オンラインを活用した自宅での低強度運動教室の実行可能性検証

(1) 運動強度

運動教室中の心拍数中の平均 (SD) 心拍予備値は $29.8 (6.8)$ % であり、運動は超低強度から低強度の強度でおこなわれたことを確認した。

(2) 実行可能性

高血圧を持っている女性参加者 1 名が、1 週目から運動教室に参加する前に非常に高い収縮期血圧 (180mmHg 以上) を継続して報告したため、2 週目に実験から辞退した。そのため、継続率は 93.8% (15/16 名) であった。残った 15 名の参加者では、全体の遵守率の中央値 (IQR) は 97.4 (94.7-100) % であった。

(3) 安全性

運動中の有害事象は確認されなかった。

(4) 楽しさ

教室の楽しさのスコア (0~10 点) に関しては、第 1 週 (6.7 [1.7]) に比べて第 6 週 (8.2 [1.3]) と第 8 週 (8.5 [1.3]) で有意に増加した。

以上の結果から、オンラインを活用した自宅でおこなう低強度の運動教室は高齢者の実行可能性が高いことがわかった。本研究の成果は JMIR Aging に掲載された (Hyodo et al., 2023)

<実験 3> 3 ヶ月間のオンライン低強度運動教室が高齢者の WM に与える影響とその脳内機構

(1) 参加者

図 5 に実験の流れを記載する。102 名の高齢者が研究に参加し、事前測定後のスクリーニングで 17 人が除外され、83 名をランダム割付により運動群 42 名、対照群 41 名に振り分けた。割付時・介入期間中・事後測定前に参加が不可能になった者、参加を辞退した者を除く運動群 35 名 (76.4 ± 5.1 歳、男性 5 名)、対照群 29 名 (75.3 ± 5.6 歳、男性 6 名) のデータを解析に用いた。また、運動群の NIRS のデータ分析は、頭に金属が入っていて測定不可だった人などを除いて 32 名を解析した。

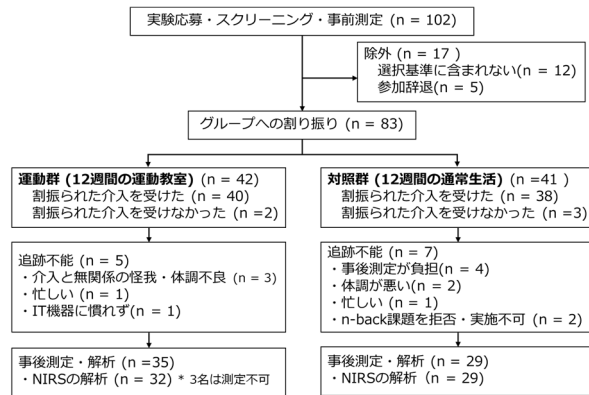


図 5. 参加者フロー

(2) 課題成績

0-back 条件と 2-back 条件の反応時間と正解率に関して、群 (運動群/対照群) と時間 (介入前/介入後) を要因とした 2 元配置分散分析の結果、どの課題成績についても有意な交互作用は見られなかった (図 6)

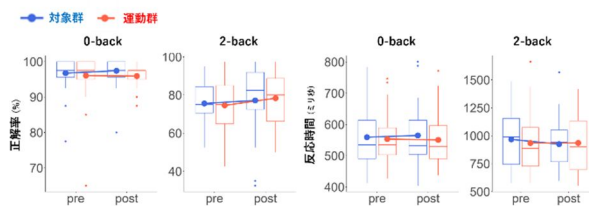


図 6. N-back 課題成績

(3) 脳活動

測定したチャンネルごとに、0-back と 2-back の脳活動に関してグループ (運動群/対照群) と時間 (介入前) を要因とした 2 元配置分散分析をおこなった結果、2-back 中の oxy-hb 変化において、左前頭前野の 3ch、右前頭前野の 1ch に有意な交互作用が見られ、変化量を群で比較した結果、運動群では対照群に比べて有意に oxy-hb が低下していた (図 7)。

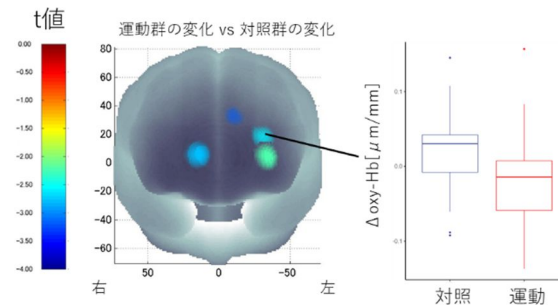


図 7. 2-back 条件の脳活動の群間比較

本実験の結果から、3 ヶ月間の低強度運動は WM の課題成績に与える効果は確認されなかった。しかし、運動群は 2-back 条件中の脳活動が減少していたことから、効率的に脳を使って課題を遂行していた可能性がある。実験 1 の結果から一過性の運動では脳活動が増加する傾向にあったが、習慣的な運動は脳の機能的・構造的なネットワークを強化して、効率的に前頭前野を動員できるようになった可能性がある。これは、抑制機能の効果を見た我々の研究と一致する (Hyodo et al., 2012, Byun and Hyodo et al., 2023)。介入期間を延ばすことで課題成績にも効果が見られる可能性があることから、今後は長期的な介入効果の検証が求められる。

実験 1 の結果から一過性の運動では脳活動が増加する傾向にあったが、習慣的な運動は脳の機能的・構造的なネットワークを強化して、効率的に前頭前野を動員できるようになった可能性がある。これは、抑制機能の効果を見た我々の研究と一致する (Hyodo et al., 2012, Byun and Hyodo et al., 2023)。介入期間を延ばすことで課題成績にも効果が見られる可能性があることから、今後は長期的な介入効果の検証が求められる。

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 Hyodo Kazuki, Suwabe Kazuya, Yamaguchi Daisuke, Soya Hideaki, Arao Takashi	4. 巻 13
2. 論文標題 Comparison Between the Effects of Continuous and Intermittent Light-Intensity Aerobic Dance Exercise on Mood and Executive Functions in Older Adults	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Aging Neuroscience	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） 10.3389/fnagi.2021.723243	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 Hyodo Kazuki, Kitano Naruki, Ueno Aiko, Yamaguchi Daisuke, Watanabe Yuya, Noda Takayuki, Nishida Sumiyo, Kai Yuko, Arao Takashi	4. 巻 16
2. 論文標題 Association between intensity or accumulating pattern of physical activity and executive function in community-dwelling older adults: A cross-sectional study with compositional data analysis	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Frontiers in Human Neuroscience	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） 10.3389/fnhum.2022.1018087	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 Hyodo Kazuki, Kidokoro Tetsuhiro, Yamaguchi Daisuke, Iida Michitaka, Watanabe Yuya, Ueno Aiko, Noda Takayuki, Kawahara Kenji, Nishida Sumiyo, Kai Yuko, Arao Takashi	4. 巻 6
2. 論文標題 Feasibility, Safety, Enjoyment, and System Usability of Web-Based Aerobic Dance Exercise Program in Older Adults: Single-Arm Pilot Study	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 JMIR Aging	6. 最初と最後の頁 e39898 ~ e39898
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2196/39898	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6件（うち招待講演 2件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 兵頭和樹, 城所哲宏, 野田隆行, 山口大輔, 西田純世, 河原賢二, 甲斐裕子, 荒尾孝
2. 発表標題 自宅型の高齢者向けオンライン運動教室プログラムの実行可能性とメンタルヘルスへの影響 予備的検討
3. 学会等名 第76回日本体力医学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 兵頭和樹
2. 発表標題 高齢者の認知機能維持・向上に資する 運動の役割
3. 学会等名 日本体育・スポーツ・健康学会 第71回大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 兵頭和樹, 諏訪部和也, 山口大輔, 荒尾孝
2. 発表標題 音楽に合わせた軽体操の間欠的な実施は高齢者の気分・実行機能をより高めるか。
3. 学会等名 第75回日本体力医学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Hyodo, T. Kidokoro, Y. Kai, T. Noda, D. Yamaguchi, K. Kawahara, S. Nishida, H.Soya , and T. Arao
2. 発表標題 Acceptability of a home-based online exercise program in older adults; a pilot study
3. 学会等名 ARIHHP science week2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kazuki Hyodo, Daisuke Yamaguchi, Kazuya Suwabe, Hideaki Soya
2. 発表標題 The effects of acute exercise on working memory in older adults: a preliminary study
3. 学会等名 ARIHHP science week 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 兵頭和樹
2. 発表標題 一過性の運動が高齢者の認知機能・気分に与える効果-軽体操に着目して
3. 学会等名 第77回日本体力医学会大会（招待講演）
4. 発表年 2022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