

令和 4 年 6 月 23 日現在

機関番号：31302

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K10855

研究課題名(和文) 一過性運動のタイプが認知機能と脳活性に及ぼす影響

研究課題名(英文) Influence of different types of acute exercises on cognitive functions and brain activation

研究代表者

高橋 信二 (TAKAHASHI, Shinji)

東北学院大学・教養学部・教授

研究者番号：50375482

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、実行機能と脳の活性度に対する一過性の複雑な運動と単純な運動の効果を比較した。健康な大学生24名(女性9名)は、10分間のバドミントン、ランニング、また統制条件として座位安静の前後で中立課題と不一致課題で構成されるストループ課題を行った。その結果、複雑な運動であるバドミントンは単純な運動であるランニングと比較して実行機能を向上させること、一方でバドミントンもランニングも実行機能に関連するPFCの活性度には影響しないことが明らかとなった。複雑な運動は脳機能を効率化することにより、実行機能を向上させる可能性がある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

有酸素運動は脳機能の向上に効果を有することが知られている。しかし、余暇活動などで行う球技などの複雑な運動の脳機能に対する効果は十分に検討されていない。そこで、本研究は複雑な運動としてバドミントンの脳機能と脳の活性に対する効果をランニングと比較検討した。その結果、バドミントンは脳を活性化させることはなかったが、脳機能を向上させることが明らかとなった。複雑な運動は効率的に脳機能を向上させる可能性がある。

研究成果の概要(英文)：The present study compared the influence of acute complex exercise (badminton) on executive function and the prefrontal cortex activation with those of simple exercise (running). Healthy 24 undergraduate students (9 women) completed 3 interventions, badminton, running, and seated rest as the control condition. Each intervention was for 10 min. The Stroop task that comprised the neutral and incongruent tasks was administered before and after each intervention. During the Stroop task, prefrontal cortex activation was measured by functional near-infrared spectroscopy. The results revealed that badminton enhanced executive function relative to running, although neither badminton nor running activated the prefrontal cortex. Acute complex exercises could improve executive functions by making brain function efficient.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：運動のタイプ ストループ課題 前頭前野 近赤外線分光法

1. 研究開始当初の背景

定期的な運動は加齢に伴う認知機能低下の予防あるいは軽減と子供の認知機能の健全な発達に重要な役割を担うことが知られており、多くの研究が運動と認知機能の関係を明らかにすることを試みている。運動の認知機能に対する効果を明らかにするために、定期的な運動ばかりではなく一過性の運動が認知機能、特に高次認知機能として知られる実行機能に与える影響も精力的に研究されている。先行研究は、一過性の有酸素性運動は実行機能に対する効果は小さいものの有意であること、その効果は強度、実施時間に影響されることを報告している。

実行機能に対する活動強度や実施時間などの運動の量的な特性は良く研究されているのに対して、運動のタイプなど質的特性についての研究はあまり行われていない。特に、オープンスキル、動的に変化する環境への適応、チームメイトや対戦相手との社会的相互作用を必要とする一過性の複雑な運動の影響については十分に研究されていない。いくつかのシステマティックレビューは定期的な複雑な運動は単純な運動よりも実行機能に効果的であることを示している。

定期的な複雑な運動の効果が明らかになっているのに対して、一過性の複雑な運動に関する研究成果は一貫していない。球技やアクティブビデオゲームなどの複雑な運動は実行機能を向上させることを報告した研究もあれば、複雑な運動の実行機能に対する効果は単純な運動のそれよりも劣ることを報告する研究もある。一過性の複雑な運動が実行機能に対して好ましい影響を与える原因としては、活動に求められる認知的負荷が実行機能を司る脳領域・前頭前野(prefrontal cortex: PFC)を活性化させることが推察されている。一方、実行機能の向上において複雑な運動が単純な活動よりも劣る原因としては、活動に求められる認知的負荷による中枢性の疲労が運動の効果を相殺すると考えられている。

このように一過性の複雑な運動の実行機能に対する影響は未だ一定の見解に達していないものの、複雑な運動は単純な運動よりも PFC を刺激する可能性はいずれの研究でも共通している。しかしながら、これまでに一過性の複雑な運動が PFC の活性にどのような影響を与えているのかを検討した研究は行われていない。運動と認知機能の関係を明らかにするために、複雑な運動の PFC に対する影響を検討することは重要な意味を有するものと思われる。

2. 研究の目的

そこで本研究は、複雑な運動、単純な運動および座位安静(コントロール条件)が実行機能の代表的な測定方法であるストループ課題およびストループ課題中の PFC の活性にどのような影響を与えるのかを比較した。複雑な運動には、オープンスキル、戦術的な意志決定、様々な動作を必要とするバドミントンを選択し、単純な運動としてランニングを選択した。ストループ課題中の PFC の活性は近赤外線分光法(functional near infrared spectroscopy: fNIRS)により測定した。

3. 研究の方法

(1) 被験者

本研究では、バドミントン、ランニング、コントロール条件の計3つの実験条件をクロスオーバーデザインにより比較した。検定力分析を行った結果、必要標本数は17人であった。被験者は東北学院大学の大学生および大学院生を対象に募集された。本研究の最終的な被験者は右利きの健康な24人(女性9人)であった。対象者一人ひとりに対してインフォームド・コンセントを実施し、書面での同意を得た。本研究は東北学院大学大学院人間情報科学研究科の倫理委員会の承認(2019R003)を得た。

(2) 実験計画

被験者は実験に参加するために、 6.3 ± 2.1 日の間隔を空けて実験室へ計4回訪問した。実験は1日あたり1つであった。

(1日目) 実験参加の初回に、インフォームド・コンセントを行った後、被験者の形態測定を行った。その後、有酸素性能力($VO_2\text{peak}$, $HR\text{max}$)評価の漸増負荷テストを行った。また、実験環境への順化を目的として、fNIRS (Spectratech 社製 OEG-16)のヘッドバンドを装着し、2回のストループ課題を行った。

(2~4日目) 2~4回目の実験室訪問では、1)バドミントン条件、2)ランニング条件、3)コントロール条件での測定であった。各条件の実施順は無作為化された。実験室に到着後、被験者は10分間の座位安静状態をとった。安静状態の後、被験者はfNIRSのヘッドバンドを装着し、コンピュータによりストループ課題(約4分間)を行った。ストループ課題の後、被験者はfNIRSのヘッドバンドを外し、3分間で携帯式間接熱量計(MetaMax-3B)を装着し、実験環境へ移動した。実験条件終了後、被験者は実験環境から戻り、15分の座位で安静をとった。その後、携帯式間接熱量計を外し、ストループ課題を再度行った。実験条件中および実験条件後15分間の心拍数(HR)と酸素摂取量(VO_2)は携帯式間接熱量計により測定された。

(3) 実験条件

バドミントン条件では、被験者は実験室に隣接した体育館アリーナに移動し、バドミンントンの指導経験があるスタッフと対戦形式(シングルス)で 10 分間プレーした。スタッフは対戦相手の能力に応じてプレーし、プレー中より良くプレーできるよう被験者にアドバイスを与えた。バドミントンは対戦形式で行われたが、点数は付けず、勝敗を決定しなかった。ランニング条件では、被験者は実験室内にあるトレッドミルエルゴメータ上で 75% VO₂peak に相当する速度で 10 分間のランニングを行った。コントロール条件である座位安静では、被験者はリクライニングのある椅子に座り、日常的に行うスマートフォン操作(e.g., ネットサーフィン, ゲーム, 動画視聴)を 10 分間行った。

(4) 測定項目

【活動強度】各実験条件中の VO₂ と HR を記録し、定常状態に達したと思われる最終 7 分間の値を平均化した。

【ストループ課題】ストループ課題は、記号(XXXX)を用いた中立課題と色の名前(あか、あお、きいろ、みどり)を用いた不一致課題により構成されるブロックデザインにより被験者に提示された。中立課題と不一致課題はそれぞれ 24 試行により構成され、各ブロックの実施順は無作為化された。また、各ブロックにおいて試行前に 30 秒間のベースライン(自然の写真の視聴)が設定された。各試行では、15 インチのコンピュータモニタに二段で記号あるいは文字を表示した。上段には色(赤, 青, 黄色, 緑)の着いた記号(中立課題)あるいは色の名前(不一致課題)、下段には色の名前を表示した。上段の記号あるいは文字の色と下段の色の名前が一致する場合、右矢印キーを、一致しない場合は左矢印キーを押すように被験者に指示した(図 1)。各課題における試行の正答率(%)および正答の平均反応時間(reaction time: RT, ms)を測定した。

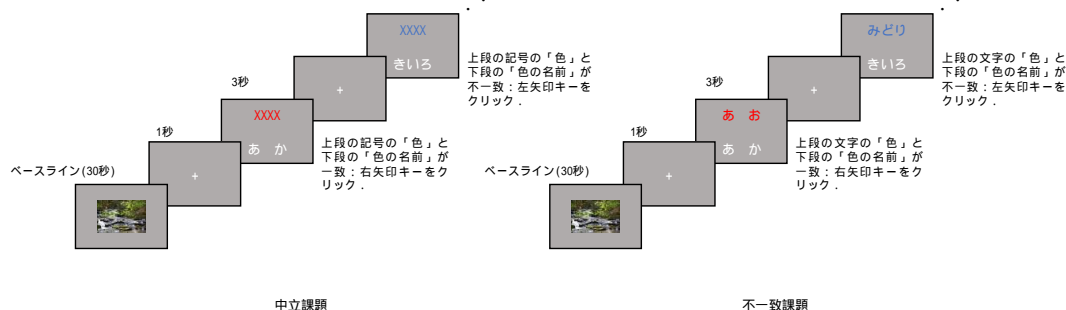


図 1. ストループ課題。

【fNIRS】PFC の活性を測定するためにストループ課題中の脳血流動態を fNIRS で測定した。計測部位は前額部とし、国際 10-20 法に準拠しヘッドセット中央が前頭極 Fpz に位置するように設置した。照射プローブと受光プローブの間が 3 cm になるように配置し、計 16 チャンネルで酸化ヘモグロビン(oxyHb)を測定した(図 2)。fNIRS のサンプリング間隔は 0.65 秒(周波数 1.5 Hz)であった。各チャンネルで測定された oxyHb の測定値に対して、呼吸、心拍などの影響を除去するためにバンドパスフィルタ(0.01 Hz-0.1Hz)を施した。その後、血流動態分離法¹により oxyHb と deoxyHb に対する皮膚血流量や姿勢変化の影響を除去した。その後、ストループ課題中のベースラインの oxyHb を基準に中立課題、不一致課題における oxyHb を標準化(z-score)し、チャンネル①～④、チャンネル⑦～⑩、チャンネル⑬～毎に平均化して、それぞれ Right-PFC, Middle-PFC, Left-PFC の指標とした。

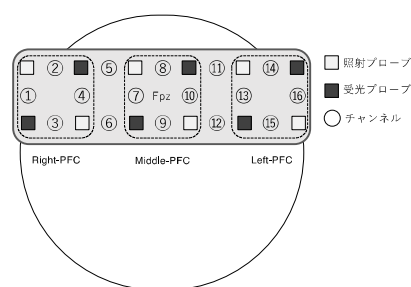


図 2. fNIRS の測定チャンネルの位置。

(5) 統計解析

各実験条件の活動強度(% VO₂peak と %HRmax)は一要因分散分析モデルをマルチレベルモデルで分析した。ストループ課題の成績(正答率と RT)および各部位の oxyHb は、時間(2 水準)×実験条件(3 水準)×ストループ課題条件(2 水準)の三要因分散分析モデルをマルチレベルモデルで分析し、いずれかの有意な交互作用が認められた場合、交互作用を分析するために二要因分散分析モデルをマルチレベルモデルにより分析した。マルチレベルモデルでは、共分散構造を無構造に設定した。一要因分散分析モデルにおいて、有意な主効果が認められた場合、Bonferroni の多重比較検定を行った。

4. 研究成果

(1) 運動強度

表1は各実験条件の運動強度を示している。有意な実験条件の主効果が認められ($F_{2,23} \geq 560, p < 0.001$)、 $\%VO_{2peak}$ と $\%HR_{max}$ のいずれにおいても、バドミントン条件とランニング条件はコントロール条件より有意に高い強度を示した($p < .05$, Cohen's $d \geq 10.66$)。バドミントン条件とランニング条件では $\%VO_{2peak}$ と $\%HR_{max}$ に有意な違いは認められなかった($p \geq 0.072$, Cohen's $d \leq 0.34$)。

表1. 実験条件別の運動強度.

測定項目	実験条件	平均±標準誤差
%VO _{2peak}	バドミントン	77.9 ± 1.9*
	ランニング	76.9 ± 0.9*
	コントロール	9.3 ± 0.3
%HR _{max}	バドミントン	83.2 ± 1.4*
	ランニング	87.2 ± 0.9*
	コントロール	38.3 ± 1.3

*: コントロール条件と有意差あり($p < 0.05$)

(2) ストループ課題

ストループ課題の正答率における三要因の分散分析モデルの結果、すべての交互作用に有意性は確認されず($p \geq 0.057$)、ストループ課題条件の主効果のみに有意性が確認された($F_{1,22.7} = 202.1, p < 0.001$)。すべての実験条件および時間において、中立課題の正答率(99.1±2.2%)は不一致課題の正答率(94.8±2.1%)よりも有意に高い値であった。

図3は、RTの変化を実験条件別に示している。三要因の分散分析モデルの結果、実験条件×時間の交互作用に有意性が認められたため($F_{2,23} \leq 5.6, p = 0.011$)、各実験条件で時間×ストループ課題条件の二要因分散分析モデルをマルチレベルで分析した。バドミントン条件では時間の主効果($F_{1,23} = 26.7, p < 0.001$)とストループ課題条件×時間の交互作用($F_{1,23} = 6.4, p = 0.018$)に有意性が認められた。一方、ランニング条件とコントロール条件では、ストループ課題条件の主効果に有意性が認められたものの、交互作用および時間の主効果に有意性は認められなかった($p \geq 0.263$)。これらの結果は、単純な運動であるランニングはストループ課題の成績に影響を与えないのに対して、複雑な運動であるバドミントンは、中立課題と不一致課題の成績を向上させ、選択的に不一致課題の成績に利益をもたらすことを示している。正確性を低下させずに、処理速度を向上させた結果は、複雑な運動が実行機能を向上させることを示している。

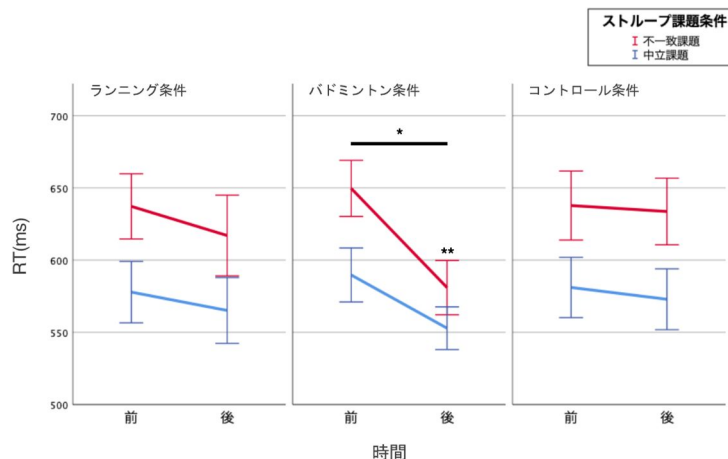


図3. 実験条件別のストループ課題のRTの変化。図中の*はバドミントン条件で中立課題および不一致課題が実験条件に向上したことを示す ($p < 0.05$)。**は不一致課題が中立課題よりも有意に向上したことを示す ($p < 0.05$)。

(3) 前頭前野の活性

図4はストループ課題に対する各脳領域のoxyHb(z-score)の変化を示している。実験条件×時間×ストループ課題条件の三要因分散分析モデルの結果、Right-PFCではすべての交互作用および主効果に有意性は認められなかった($p \geq 0.078$)。同様にMiddle-PFCでもすべての交互作用および主効果に有意性は認められなかった($p \geq 0.444$)。Left-PFCでは、ストループ課題条件の主効果に有意性が認められたものの($F_{1,23.3} = 7.0, p = 0.014$)、その他の主効果およびすべての交互作用に有意性は認められなかった($p \geq 0.317$)。

Left-PFCでの有意なストループ課題条件の主効果は、Left-PFCが中立課題時よりも不一致課

題時に活性化したことを示している。この結果は、これまでの先行研究^{2,3}の知見と一致するものであった。しかしながら、バドミントンとランニングの影響を反映する交互作用において有意性は認められなかった結果は、一過性運動により実行機能の向上と PFC 活性の増加は同時に生じること、また、実行機能の向上と PFC 活性の増加の間には有意な中程度の相関関係があることが報告した多くの研究^{4,5}と異なるものであり、実行機能向上の原因が PFC の活性増加以外であることを示唆するものである。

一過性の複雑な運動は PFC 活性を増加させることなく、実行機能を向上させるという本研究の結果は、複雑な運動は脳機能を効率化させる可能性を示している。Heiland et al.⁶も PFC の活性増加が伴わない一過性の運動による実行機能の向上を報告し、運動により増加したカテコラミンや神経栄養因子、乳酸などの代謝性物質が実行機能を効率化させる可能性に言及している。今後は、脳血流量の変化に加えて、代謝性物質の影響も検討していく必要があるだろう。

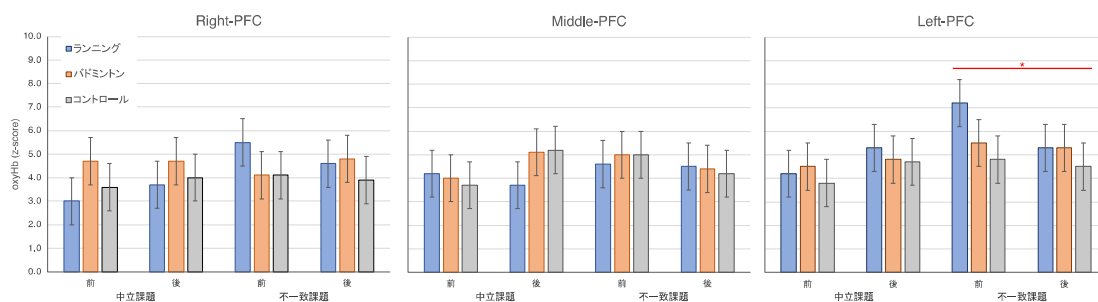


図4. ストロープ課題に対する各脳領域の活性度の比較。図中の*は不一致課題が中立課題よりも高いoxyHbだったことを示す($p < 0.05$)。

(まとめ)

本研究では、実行機能と脳の活性度に対する一過性の複雑な運動と単純な運動の効果を比較した。その結果、複雑な運動であるバドミントンは単純な運動であるランニングと比較して、ストロープ課題で測定した実行機能を向上させること、一方でバドミントンもランニングも実行機能に関連する PFC の活性度には影響しないことが明らかとなった。複雑な運動は脳機能を効率化することにより、実行機能を向上させる可能性がある。

References

- 1 Yamada, T., Umeyama, S. & Matsuda, K. Separation of fNIRS signals into functional and systemic components based on differences in hemodynamic modalities. *PloS one* **7**, e50271 (2012).
- 2 Derrfuss, J., Brass, M., Neumann, J. & von Cramon, D. Y. Involvement of the inferior frontal junction in cognitive control: Meta-analyses of switching and Stroop studies. *Human brain mapping* **25**, 22-34 (2005).
- 3 Nee, D. E., Wager, T. D. & Jonides, J. Interference resolution: insights from a meta-analysis of neuroimaging tasks. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience* **7**, 1-17 (2007).
- 4 Yanagisawa, H. et al. Acute moderate exercise elicits increased dorsolateral prefrontal activation and improves cognitive performance with Stroop test. *Neuroimage* **50**, 1702-1710, doi:10.1016/j.neuroimage.2009.12.023 (2010).
- 5 Damrongthai, C. et al. Benefit of human moderate running boosting mood and executive function coinciding with bilateral prefrontal activation. *Scientific reports* **11**, 1-12 (2021).
- 6 Heiland, E. G. et al. Frequent, Short Physical Activity Breaks Reduce Prefrontal Cortex Activation but Preserve Working Memory in Middle-Aged Adults: ABBaH Study. *Front Hum Neurosci*, 533 (2021).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 高橋信二
2. 発表標題 実行機能と脳血流動態に対する複雑な運動の効果-バドミントンとランニングの比較-
3. 学会等名 日本体育・スポーツ・健康学会第71回大会
4. 発表年 2021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
---------	---------