

軽い運動でも認知機能は高まる！

—短時間の軽運動でも高まる実行機能と脳内神経基盤の解明—

研究成果のポイント

1. わずか 10 分間の軽運動でも、脳の中の、注意・集中、判断、計画・行動能力などの認知機能（実行機能）を支配する部位の活動が高まることと、実行機能が実際に高まることを世界で初めて科学的に確認
2. 左脳の前頭前野背外側部(DFPFC)⁽¹⁾ならびに前頭極(FP)⁽²⁾の活動が高まることを、機能的近赤外線分光法⁽³⁾装置(fNIRS)を用いたニューロイメージングほかの手法によって実証したもの
3. 加齢やストレスの影響を受けやすい前頭前野の機能向上に、軽運動でも効果があることに関して得られた初の科学的裏付け

国立大学法人筑波大学(以下、「筑波大学」という)体育系の征矢英昭教授と中央大学理工学部の檀一平太教授の共同研究グループは、前頭前野が担う実行機能(注意・集中、判断、計画・行動を調節する高次認知機能)が短時間の低強度運動でも向上し、その裏付けとして前頭葉の特異的部位の活性化が関わっていることを、最新の光脳機能イメージング法(機能的赤外線分光法)を用いて確認しました。誰にでも実行しやすい軽運動に気分や認知機能を高める効果があることを科学的に初めて裏付けたものです。これは、ヨガや太極拳などの軽運動をベースとした東洋的身体技法が脳にも有益な効果を与えることを示唆しています。

同研究グループは、これまで、鬱病や認知症、糖尿病、注意欠陥障害者などに共通して低下が認められる実行機能に対して、一過性の中強度運動が効果があることを明らかにしてきました。本研究はその成果を発展させ、健康な若年者を実験対象にして、軽運動の効果を検討したものです。その結果、10 分間の軽運動でも実行機能課題成績が向上することと、課題成績の向上は、覚醒度の増加及び左半球の前頭前野背外側部、前頭極の活性化と関係していることを確認しました。この知見は、だれでも実行しやすく親しみやすい身体文化でもある東洋的身体技法などをより積極的に生活に取り入れることで、生活の質を向上させ、ひいては認知症予防ともなりうる、いわゆる脳フィットネスライフを推進する上での裏付けとなることが期待されます。

本研究成果は、米国の科学専門雑誌「NeuroImage(ニューロイメージ)」オンライン版に掲載されます。

※本研究は、文部科学省特別経費プロジェクト「たくましい心を育むスポーツ科学イノベーション」(平成 22～25 年度)、並びに「ヒューマン・ハイ・パフォーマンス研究」(平成 26～30 年度)の支援を受けて行われました。

研究の背景

習慣的な運動は、身体健康だけでなく、記憶や注意・判断力などの認知機能への効果が明らかとなっており、認知症予防策として注目を集めています。これまで、健康維持・増進のためには、息が軽く弾み、ややキツイと感じる程度の中強度での運動が推奨されてきました。しかしそのような強度で運動することは高齢者や低体力者にとっては難しく、習慣的な実践は健康な若者にとってもたやすくありません。

本研究グループは、息がほとんど弾まない、運動していても楽だと感じる程度の低強度での運動（軽運動）の効果に着目して研究を進めてきました。ヨガや太極拳などの軽運動もこれにあたります。動物実験の結果から、ストレスにならない低強度運動は記憶機能を司る海馬で新しくできる神経の数を増やし、空間記憶能力を向上させる効果があることはすでに確認していました(Okamoto ら、PNAS 2012)。しかしながら、ヒトを対象にした研究では、軽強度の運動が認知機能に与える影響はあまりわかっていませんでした。

これまでは、光による脳機能イメージング法である「機能的近赤外線分光法」を用いて、一過性の中強度運動がヒトの脳活動に与える影響を検討してきました。機能的近赤外線分光法はヒトの脳活動を比較的簡便かつ非侵襲的に測定できる装置で、運動直後の測定が可能なことから、一過性の運動効果の検討には最適と言えます。また、その際に認知機能テストとして用いる「ストループテスト」は、色のついた色名单語の色を、その意味に惑わされないように回答するテストです。これは、ある目的を実行するために注意や行動を適切に制御する機能（実行機能）の評価に用いられる代表的な認知機能テストです(図1)。中強度運動では、運動後に実行機能において重要な左前頭前野背外側部(DLPFC)の活動が高まり、テスト成績も向上すること(Yanagisawa ら、Neuroimage 2010)、高齢者では若者とは異なる脳部位の活動が高まること(Hyodo ら、Neurobiol Aging 2012)を明らかにしてきました。

本研究では、中強度運動で確認された実行機能を高める短期的な効果が低強度の運動でも確認できるのか、効果があるとしたらどのような脳のはたらきを介しているのかの、世界で初めて検討を目指しました。

研究の内容

本研究では 25 名の右利き健常若年者を解析の対象としました。実験参加者は、低強度運動の前後でストループテストを行う「運動条件」、および運動の代わりに安静の前後にストループテストを行う「対照条件」にランダムに振り分けられました。運動条件では、予め実験参加者毎に計測された運動時の最大酸素摂取量⁽⁴⁾に基づき、その 30%の運動強度に設定したペダリング運動を10分間行いました(図2)。ストループテスト中は、前頭前野の外側部を覆うように光トポグラフィを装着し、脳

活動を表す指標として、課題に対する酸素化ヘモグロビンの濃度変化を計測しました。また、課題成績として、ストループテストの回答に要した時間(反応時間)を計測しました。

運動条件における運動前後と、対象条件における安静前後の課題成績を比較したところ、ストループ干渉処理を反映する反応時間が、運動条件で優位に短縮していました(図3A)。したがって、低強度運動でも、中強度運動と同様に実行機能を反映するストループ干渉処理能力を高めることがわかりました。

次に、その背景となる脳活動を検討しました。まず、ストループ干渉による脳の活動部位を評価すると、両側の前頭前野で活動が見られましたが(図3B)、運動後は安静条件と比べて左の前頭前野背外側部と左の前頭極の活動が有意に高まっていました(図3C)。左半球の前頭前野は、ストループ課題の遂行を担う脳部位であり、中でも背外側部と前頭極は、前帯状回(ACC)を介して密な神経連絡をとっており、認知の制御に重要な役割を果たすことが報告されています。したがって、本研究の結果から、低強度の運動は課題遂行に必要な脳部位同士のネットワークを一過的に高め、実行機能を向上させる上で効果があると考えられます。

気分に関しては、運動によって覚醒度のみが有意に増加しました(図4A)。課題成績、脳活動、覚醒度の関係を見ると、運動による課題成績と覚醒度の変化に有意な正の相関関係が示されると共に、運動による左前頭前野背外側部と左前頭極の脳活動の亢進は、課題成績の向上及び覚醒度の増加と有意に一致していることが明らかになりました(図4B)。

今後の展開

本研究で、低強度の運動を10分間行うだけで実行機能が向上すること、その際、実行機能に重要な脳部位(左前頭前野背外側部、前頭極)の活動が活発になっていることが初めて明らかになりました。これは、これまで明らかにしてきた中強度運動(最大酸素摂取量の50%)で得られた実行機能を高める効果が、軽運動(同30%)でも十分に享受できることを示しています。したがって、体力のない高齢者や疾患などを対象とした認知症予防目的の運動処方の開発が加速されることが期待されます。今後、健常高齢者や軽度認知症高齢者(認知症予備軍と呼ばれる)を対象に、一過性の軽運動の効果、さらに長期的な効果を検証していくことが重要な課題です。

参考図

中立課題	一致課題	不一致課題
XXXX あお	あか あお	みどり あお
XXXX あお	あお あお	あか あお

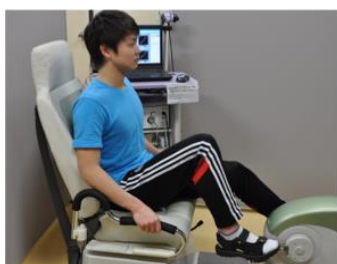
図1. ストループテスト

ストループテストでは、パソコンの画面上段の単語の色が下段の単語の意味と一致しているかどうかを判断する。中立課題、一致課題、不一致課題の順で難易度が増していく。不一致課題のように「文字の意味と色が違う色文字」を回答するための情報処理過程に競合が生じる。これをストループ干渉と呼ぶ。このストループ干渉を処理する能力は、不一致課題と中立課題の成績の差から求められ、実行機能の一つとして評価される。上が不正解、下が正解の例である。

(A)

		光トポ		光トポ	
対照条件	T D M S	ストループテスト 6分30秒	安静 15分		ストループテスト 6分30秒
運動条件		ストループテスト 6分30秒	低強度運動 10分	安静 5分	ストループテスト 6分30秒

(B)



(C)



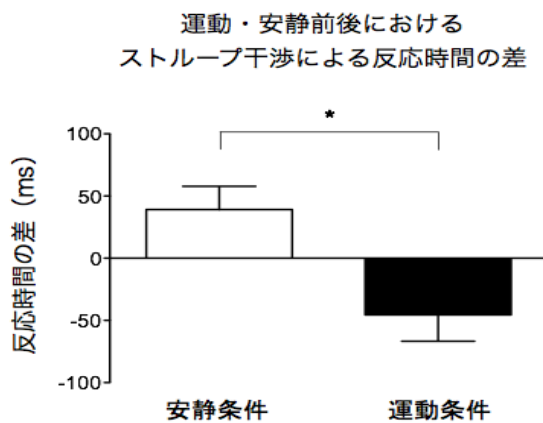
(D)



図2. 実験の流れ

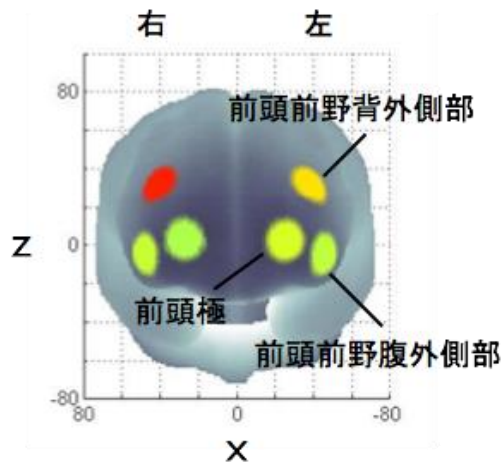
(A) 実験参加者はまず運動条件か対照条件にランダムに振り分けられ、別の日に残りの条件の実験に参加した。運動条件は最大酸素摂取量の30%の強度で10分間の自転車ペダリングを行い、対照条件は何もせずに安静を維持した。各条件とも実験前後に2次元気分尺度(TDMS)とストループテストを行った。ストループテスト中には、光トポグラフィを用いて前頭前野の酸素化ヘモグロビン動態をモニターした。(B) 運動の様子、(C) 近赤外線分光法装置の装着位置、(D) ストループテストの様子。

(A)



(B)

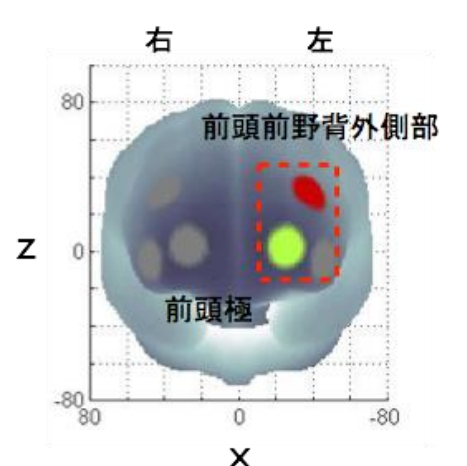
ストループ干渉による脳活動部位



低 ← 脳活動 → 高

(C)

運動により増加した部位



低 ← 脳活動 → 高

図3. 課題成績及び光トポグラフィデータ

(A)運動条件、対照条件において、運動・安静前後に実施したストループテストの反応時間解析結果。負の値は運動または安静によって反応時間が速まり、課題成績が向上したことを示す。運動は安静に比べて、反応時間を短縮させる結果となった。(B)運動条件と対照条件の、運動・安静前のストループテスト中に、ストループ干渉による脳活動が見られた部位。(C)運動条件と対照条件において、運動または安静の前後でストループ干渉による脳活動変化を統計的に処理したところ、有意な変化が見られた脳部位。

(A)

(B)

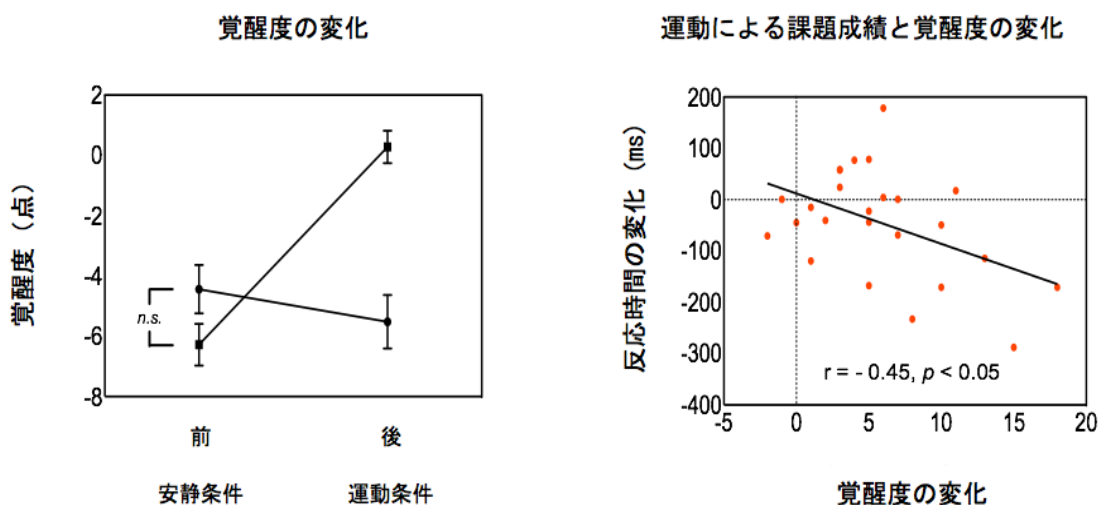


図4. 課題成績、脳活動、覚醒度の関係

(A)運動条件、対照条件において、運動・安静前後におこなった2次元気分尺度の解析結果(覚醒度のみ)。(B)運動条件において、運動前後のストループ課題成績と覚醒度の変化の関係。

用語の解説

(1)前頭前野背外側部: 大脳の前頭葉、その中でも前側に位置する脳領域である前頭前野の一部。ブロードマンの46野に相当する。実行機能を担う中心的領域であり、注意・集中や、ワーキングメモリなどに関わる部位である。

(2)前頭極: 前頭前野の中でも最も前側に位置する領域。ブロードマンの10野に相当する。その役割はまだまだ解明されていないが、二つの異なる課題を同時に遂行する二重課題や、未来についての計画に関わる事が報告されている。

(3)機能的近赤外線分光法装置(fNIRS): 頭部に近赤外光を照射し、戻ってきた光の量から脳内のヘモグロビン酸素化動態を計測する装置。脳の活性化にともなって増加する血中の酸素化ヘモグロビンを局所的に計測することで、脳の活動を間接的に評価できる。磁気共鳴機能画像法(fMRI)や陽電子放射断層撮影法(PET)などの他の脳機能イメージング法と比較して、測定時の被験者の自由度が大きく、完全無侵襲であるという利点を持つ。反面、脳のどの部位を計測しているのか、位置情報を取得できないという問題があった。しかし、檀らがこの問題点をコンピュータ・シミュレーションによって解決するバーチャルレジストレーション法を開発し、本研究にも活用した。

(4) スループテスト: 1935年に心理学者ジョン・スループが考案したテスト。スループは、実行機能の検査に用いられる。色と意味が異なる色文字を見たときに、意味に対する反応が優先的に起こってしまい、色に対する反応が遅れてしまう現象を発見した。このように競合する刺激が与えられたときに認知的葛藤が起こる現象は、発見者の名前からスループ干渉と呼ばれる。現在までに様々なバリエーションのスループテストが作られてきたが、最も一般的なものが、今回の研究でも用いたカラー・ワード・スループテストである(図1参照)。

(5) 最大酸素摂取量: 全身持久力の指標。通常、10分程度で最大努力に到達するような漸増負荷運動を行わせ、その間の呼気ガスを採取し、体重1kgあたり1分間にどれだけ体内に酸素を取り込めるかを測定する。

掲載論文

【題名】 Positive effect of acute mild exercise on executive function via arousal-related prefrontal activations: an fNIRS study.

(覚醒と関わる脳活動を高める短時間の軽運動が実行機能に及ぼす有意機な効果: fNIRS を用いた研究)

【著者名】 邊桐鎬¹, 兵頭和樹¹, 諏訪部和也¹, 越智元太¹, 坂入洋右¹, 加藤守匡², 檀一平太³, 征矢英昭¹

¹筑波大学大学院 人間総合科学研究科

²山形県立女子短期大学 健康栄養学科

³中央大学 理工学部 人間総合理工学科

【掲載誌】 NeuroImage 電子版 (校正前原稿は公開中)

問い合わせ先

征矢 英昭 (そや ひであき)

筑波大学 体育系 教授

(運動生化学研究室)

檀一平太(だん いっぺいた)

中央大学 理工学部

人間総合理工学科 教授