

2009年12月22日

報道関係者各位

国立大学法人筑波大学
独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構
食品総合研究所

運動で頭スッキリ

—短時間の中強度運動が認知機能を向上させる脳内基盤を解明—

発表者

筑波大学大学院人間総合科学研究科（運動生化学）征矢英昭教授
（独）農研機構・食品総合研究所 食認知科学ユニット 檀一平太主任研究員

研究成果のポイント

- ・短時間の中強度運動を行った直後に認知機能が向上
- ・左脳の前頭前野背外側部の血流増加との関係を光トポグラフィ計測で実証
- ・脳の実行機能を高める運動処方の開発を促進する成果

概要

筑波大学大学院人間総合科学研究科の征矢英昭教授と農研機構・食品総合研究所食認知科学ユニットの檀一平太主任研究員の共同研究グループは、短時間（10分間）の中強度運動（軽いジョギング程度）をおこなった直後に、自分の注意や行動をコントロールする脳の働きである「実行機能」が向上することを実証しました。さらに、光による脳機能イメージング法、光トポグラフィを用いた計測によって、運動による脳の認知機能の向上には、大脳の左前頭前野背外側部(DLPFC)の血流増加が伴っていることを明らかにしました。これまで、中強度の運動を長期的におこなうと、認知機能が向上することが知られていましたが、今回、世界で初めて、中強度運動が短期的にも認知機能を向上させることが、脳領域の機能変化レベルで実証されました。すなわち、昼休みに軽いジョギングをすると、その後に仕事がかどるといった現象の背景には、脳の活動変化があることが明らかになったわけです。今回の発見は、社会の生産性を向上するために、運動を積極的に取り入れるという「運動処方」の開発を促進する画期的な成果です。

本研究成果は、米国の科学雑誌「NeuroImage（ニューロイメージ）」オンライン版（12月16日付け）に掲載されました。

<研究の背景>

運動がメタボリック・シンドローム防止など身体機能の改善だけでなく、脳機能を改善するという可能性が、近年、世界的に研究者の関心を集めつつあります。たとえば、動物実験によって、長期間の走運動がネズミの海馬を発達させ、認知機能を高めることが明らかになっています。また、ヒトでも、長期間にわたって日常的に運動をおこなう人は、そうでない人より、認知課題遂行時の脳活動が高まっていることがfMRI（機能的核磁気共鳴撮像法）の実験から明らかになっています。しかし、このような長期間の運動介入実験では、運動の直接的影響だけでなく、睡眠—覚醒リズム、食事、日常の身体活動量など、種々の要因が絡むため、認知機能の向上が純粋に運動の効果かどうかは明確ではありません。このため、運動が脳機能を高めるという効果を検証するためには、運動をした後、すぐに認知機能が向上するという短期的な効果が実際に起こっていること、そして、その効果が脳のどこで司られているかを明らかにする必要があります。最近の我々の動物実験では、30分の走運動後に海馬の神経活動が高まり、神経の可塑性を高めるBDNF（神経栄養因子）を増加させることをみており、人での期待が膨らんでいました(Soya ら、Biochemical and Biophysical Research Communications 誌、2007)。そこで、今回、光による脳機能イメージング法、光トポグラフィを用いた計測によって、運動による脳の認知機能の向上を検討しました（図1）。

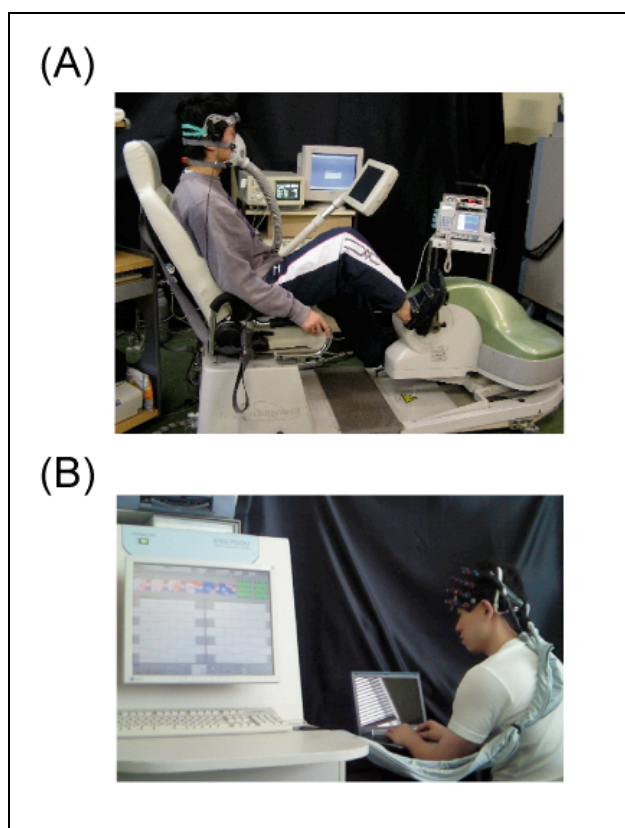


図1.運動と認知機能の測定

(A) 実験で行った中強度運動の様子。今回の実験では自転車のペダルこぎ運動を10分間行った。ペダルの重さは最大酸素摂取量の50%になるように実験参加者ごと設定した。(B) 認知機能の測定はストロープ・テストを用いた。その際ストロープ・テスト中の前頭前野の脳活動を光トポグラフィで計測した。

この計測にあたっては次の3点に留意する必要があります。まず第一に、運動が脳の認知機能に及ぼす効果を詳細に検証するためには、運動強度を厳密に統制することが必須です。そのためには、トレーニング設備において、一定量一定強度の運動を過不足なく実施しなければなりません。現在、脳機能研究にはfMRIやPET（陽電子放出断層撮像法）という方法が主に使われていますが、fMRIやPETの計測は大規模な計測設備を要するため、トレーニング設備をすぐそばに設置することは困難です。移動距離が長くなれば、軽強度運動の効果が混入するという問題が生じてしまいます。一方、今回用いた光による脳機能計測法「光トポグラフィ」は、コンパクトな装置を用いた低拘束・無侵襲の計測であるため、トレーニング設備での実験が可能というメリットがあります。

第二に、多様な脳機能の中から役割の明確なターゲットを絞る必要があります。今回我々が着目したのは、脳の「実行機能」です。これは、ヒトで非常によく発達した認知機能で、ある行動を実行するために、自分の注意や行動を適切に制御する機能です。この機能を最もよく反映するのが、ストループ・テストという認知課題の結果から求められる「ストループ干渉」を克服する能力、すなわち、色のついた文字の意味に惑わされることなく文字の色を判断する能力です（図2）。そこで、今回は、運動がストループ干渉の克服に及ぼす影響を検討しました。

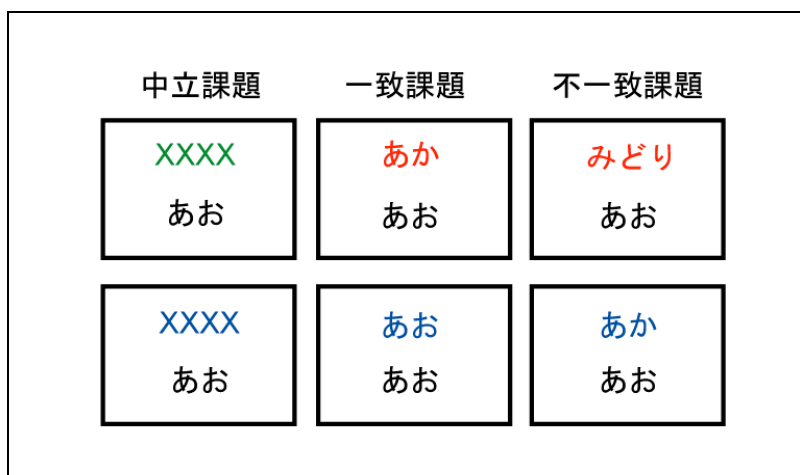


図2. ストループ・テスト

ストループ・テストでは、パソコンの画面の上段と下段に2つの単語が表示され、上にある単語の文字の色が下にある文字の意味と一致しているか異なっているかを判断する。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上段にある「文字の意味と色が違うもの」を見たとき、無意識のうちに脳内で情報処理が行われ文字の意味を認識してしまう。そうすると「文字の色」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び、前頭前野の実行機能の1つとである。上の3画面が不正解、下の3画面が正解の例である。

第三に、運動による認知機能の変化が、脳のどの領域で起こっているかを明らかにする必要があります。ところが、光トポグラフィは頭の上から脳の活動を計測するため、脳活動部位の空間的な同定ができないという問題がありました。今回は、食品総合研究所グループ開発によるコンピュー

タ・シミュレーションを導入した最新の空間解析法「バーチャル・レジストレーション法」を適用することによって、光トポグラフィ単独でも、脳領域レベルでの脳活動の空間解析を実現しています。

これらの工夫によって、本研究は、中強度の運動が、ストループ干渉の克服という脳の実行機能の中核をなす機能を向上させるかどうかを、光トポグラフィを用いて評価することを可能にした世界で初めての研究となりました。

<研究の内容>

今回の実験は20名の右利き成人ボランティアを対象としました。実験参加者は、中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でストループ・テストを行う「対照条件」に参加しました。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に基づき、その50%の運動強度に設定したペダリング運動を10分間、実行していただきました（図3）。

	実験前			実験後
運動条件	ストループ・テスト (7.5分)	運動 (10分)	安静 (15分)	ストループ・テスト (7.5分)
対照条件	ストループ・テスト (7.5分)	安静 (25分)		ストループ・テスト (7.5分)

図3. 実験プロトコル

運動条件と対照条件を設定した。運動条件は最大酸素摂取量の50%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安静を維持した。各条件とも実験の前後にストループ・テストを行った。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。

前頭前野を含む領域を対象として、ストループ・テストの脳活動を光トポグラフィで計測しました。また、課題成績を表す指標として、ストループ・テストの回答に要した反応時間を計測しました。

運動条件における運動前後と、対照条件における安静前後の課題成績を比較したところ、ストループ干渉を反映する反応時間が、統計的に有意に短縮していることが分かりました（図4）。また、光トポグラフィ計測の結果では、左前頭前野背外側部の活動が統計的に有意に高まっていることが分かりました（図4、図5）。さらに、ストループ干渉の克服を表す反応時間の短縮と左前頭前野外側部の活動増加が、実験参加者毎に一致して起こっているかどうかを検証した結果、統計的に有意な一致度を示すことが明らかになりました。

これらの結果を総合すると、50%の最大酸素摂取量10分間という中強度の運動が、ストループ干渉の克服という極めて詳細な脳の実行機能を高めており、その機能向上には左前頭前野背外側

部の活動増加が伴っていることが明らかになりました。これは、運動が認知機能に与える短期的な機能向上効果を、脳の領域レベルで実証した世界初の成果となりました。

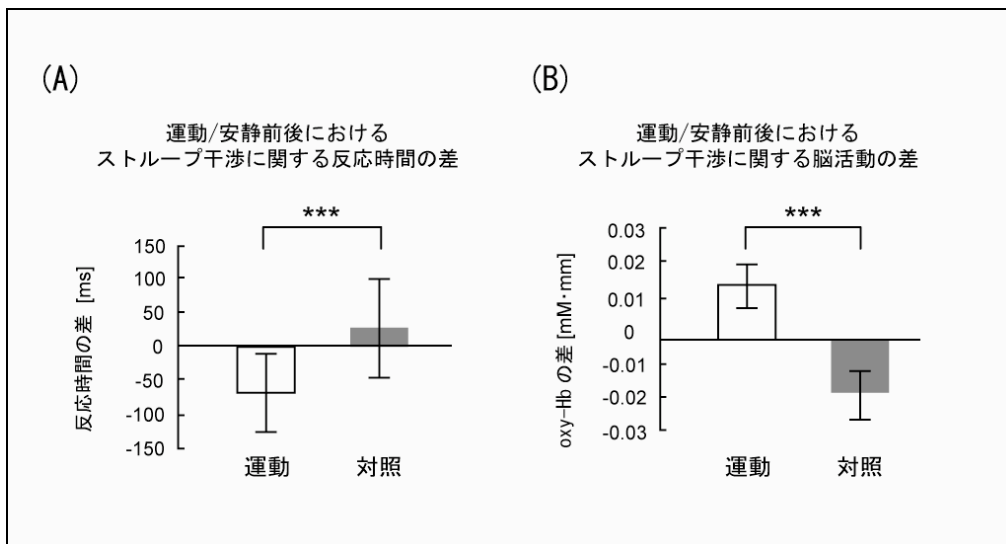


図4. ストロープ・テストの反応時間と脳活性

(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ロープ・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、課題成績が上がったことを示す。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、対照条件において、運動/安静前後に実施したストロープ・テスト中の脳活動解析結果。脳活動は酸素化ヘモグロビン信号(oxy-Hb)の変化として表している。正の値は運動または安静によって脳活動量が増えたことを示す。運動は安静に比べて、脳活動を増加させる結果となった。***は統計的に0.1%の極めて有意な水準での効果が合ったことを示している。エラーバーは標準誤差を示している。

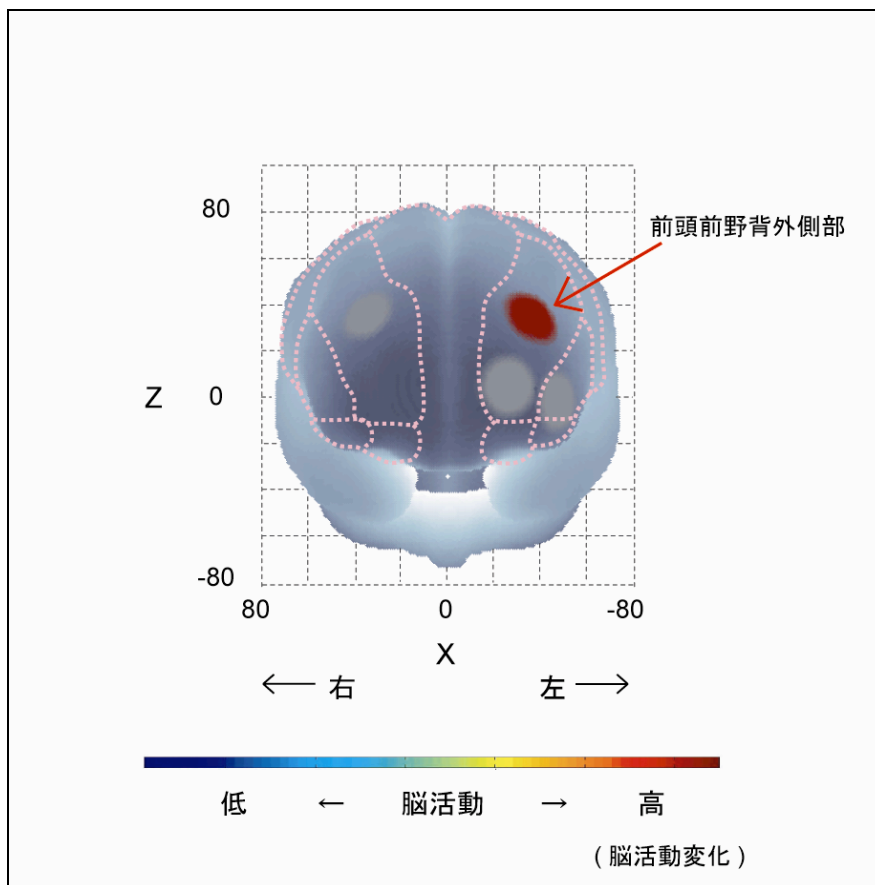


図5. ストループ干渉を反映する脳活動が高まった脳領域

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を反映する脳活動変化を統計的に処理(相互作用の分散分析)したところ、左前頭前野外側部という領域で運動による脳機能向上効果があったことが明らかとなった。灰色で表示した領域は、ストループ干渉には関わっているが、運動の効果が統計的な有意水準(5%)に満たなかった領域を示している。脳活動データは、バーチャル・レジストレーションの結果を基に、標準脳座標系において、解剖学的な脳構造の境界と共に示してある。

<今後の期待>

昼休みにジョギングやウォーキングをするなど、日常生活の中に適度な運動を取り入れることは、メタボリック・シンドロームのリスク軽減に有効であると考えられていますが、今回の発見によって、さらに、短時間の中強度運動が、運動直後に脳機能向上効果をもたらすことが明らかになりました。適度な運動をすると頭がスッキリして、その後、仕事がかどるという実感を持つ人は多いと思いますが、今回の発見は、その現象に、脳科学的な根拠を与えるものです。

今後、中強度運動がどのような生理的機構で前頭前野背外側部の活動を高めるかを明らかにしていくとともに、運動による短期的な脳機能向上が、長期的な脳機能向上につながっていくかどうかを検証していく予定です。また、本研究で確立した実験系を用いて、年齢や肥満度の違いなどの影

響や、異なる運動強度や時間の影響を調べることで、前頭前野に関連した認知機能を高める運動条件をより詳細に明らかにしていきます。このような研究を基に、メタボリック・シンドロームを軽減する従来の運動処方に加え、脳機能を高める運動処方の開発を促進していきます。さらには、摂食量や食事バランスといった食生活因子や睡眠の影響も検討し、より統合的な観点から「脳フィットネス」をもたらすライフスタイルの提案を行っていきます。

<謝 辞>

本研究における脳機能解析実験は、平成 14～18 年度文部科学省 21 世紀 COE プログラム健康・スポーツ科学研究の推進プログラム（筑波大学への助成）によって導入された光トポグラフィ装置を活用し、同助成金などを用いて行われました。また、本研究のデータ解析には、生研センター・新技術新分野創出のための基礎研究推進事業（食品総合研究所への助成）、および、厚生労働科研費（食品総合研究所への助成）によって開発された手法を活用しています。

<本成果の発表論文>

タイトル：

Acute Moderate Exercise Elicits Increased Dorsolateral Prefrontal Activation and Improves Cognitive Performance with Stroop Test.

（急性の中強度運動による前頭前野外背側部の賦活とストロープ・テスト成績の向上）

著者：

柳澤弘樹¹、檀一平太²、續木大介²、加藤守匡¹、岡本雅子²、久徳康史²、征矢英昭¹

¹筑波大学大学院人間総合科学研究科（運動生化学研究室）

²農研機構・食品総合研究所 食認知科学ユニット

掲載誌：NeuroImage 電子版（2009 年 12 月 16 日発行）

<問い合わせ先>

- ・ 征矢英昭（そや ひであき）（筑波大学大学院人間総合科学研究科体育科学専攻）
〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1
Tel: 029-853-2620
E-mail: hsoya@taiiku.tsukuba.ac.jp
- ・ 檀一平太（だん いっぺいた）（(独)農研機構・食品総合研究所 食認知科学ユニット）
〒305-8642 茨城県つくば市観音台 2-1-12
Tel: 029-838-7357
E-mail: dan@affrc.go.jp

<用語解説>

- ・ 光トポグラフィ：近赤外分光分析法(near-infrared spectroscopy; NIRS)、機能的近赤外分光分析法(fNIRS)、光脳機能イメージング法等とも呼ばれる。近赤外光(NIRS)を利用し、局所的に同期した脳神経活動によって引き起こされる脳血流量の変化をモニターする計測法。他の脳機能イメージング法と比較して、装置がコンパクト、低拘束、完全無侵襲といった利点を持つ。反面、頭皮上に計測プローブを設置するという方法上の制約から、脳の構造画像と機能画像が同時に得られる fMRI と異なり、光トポグラフィ単独では脳の構造画像の取得ができないという問題があった。近年、檀らは、光トポグラフィ計測点の位置情報を、コンピュータ・シミュレーションによって算出するバーチャル・レジストレーション法を開発し、この問題を解決した。
- ・ 前頭前野背外側部： 脳前頭葉の前側に位置する脳領域。ブロードマンの 46 野に相当する。いわゆる実行機能 (executive function)を担い、対立する考えを区別する能力の他、現在の行動によってどのような未来の結果が生じるかを決定する能力、確定したゴールへの行動、成果の予測、行動に基づく期待、社会的な抑制能力等に関係している。注意・集中、ワーキングメモリ等に関わる部位でもあり、認知症や鬱病、あるいは自閉症でこの部位の活動が低下することが知られている。
- ・ ストループ・テスト： 1935年に心理学者ジョン・ストループが考案したテストで、脳の実行機能の検査に用いられる。様々なバリエーションがあるが、最も一般的なカラー・ワード・ストループ・テストの場合、2つの文字列が同時に示される。中立課題では、無意味単語刺激(XXXX 等)の文字色が同時に示された色単語の意味と合致しているかどうかを判断させる。一致課題では、一致色単語刺激(赤色で書かれた「あか」という字など)の文字色が同時に示された色単語の意味と合致しているかどうかを判断させる。不一致課題では、不一致色単語刺激(赤色で書かれた「あお」という字など)の文字色が同時に示された色単語の意味と合致しているかどうかを判断させる。難易度は、不一致課題、一致課題、中立課題の順で高く、通常、回答に要した反応時間が課題成績として記録される。この際に、不一致課題と中立課題の反応時間の差分値がストループ干渉を表す計測変数となる。実例は図2を参照のこと。