

2024年5月24日

報道関係者各位

国立大学法人筑波大学
東京都立大学法人東京都立大学

一度の激しい運動がその後の身体活動量と体温を下げ体重を増やしてしまう

運動は有力な減量方策の一つです。しかし、高強度運動は、その後の身体活動と体温の低下を招き、体重増加につながる事が動物実験で明らかになりました。その要因が、激しい運動によるストレスホルモン「コルチコステロン」の概日リズムや身体活動と体温の同調性の乱れである可能性も分かりました。

運動は心身に多くの有益な効果をもたらしますが、減量効果は期待よりも低いことがあります。これは、運動後の身体活動の低下によるものと考えられますが、その仕組みは分かっていません。

ストレスホルモンとも呼ばれるコルチコステロンは、就寝時に低く、起床時に高まる分泌の概日リズムにより、心身の活動性を制御します。また、激しい運動を支援する一方で、うつなど心身の活動性が低下すると、この概日リズムが乱れます。そこで、一度の高強度運動でさえ、コルチコステロンの概日リズムを乱し、その後の身体活動や熱産生が低下して、減量効果を減らしてしまうという仮説を立てました。

この仮説を検証するために、マウスにおいて、高強度運動、中強度運動、安静の3群を設定し、運動前後の身体活動量と熱産生の指標となる深部体温を観察しました。その結果、高強度運動群で運動後の身体活動量と深部体温が低下し、食餌摂取量には変化がなかったにもかかわらず、体重の増加がみられました。また、身体活動量と体温の同調性が乱れており、起床時の血中コルチコステロン濃度が低いほど身体活動量が低いという正の相関も確認されました。

以上より、仮説の通り、一度の激しい運動がコルチコステロンの概日リズムを乱し、身体活動と体温の低下を招いて、体重を増加させることが明らかになりました。本研究は、運動自体のエネルギー消費量だけでなく、その後の活動性や概日リズムも考慮した運動強度の設定が、減量効果を引き出す上で重要であることを示す初めての成果です。

研究代表者

筑波大学体育系

松井 崇 助教

船橋 大介 研究員

東京都立大学大学院人間健康科学研究科

西島 壮 准教授

研究の背景

運動によりエネルギー消費量を増加させることは、体重管理や肥満予防のために重要です。一方で、運動後に身体活動^{注1)}や代謝活動が低下することで、結果的に総エネルギー消費量は増加せず、運動の減量効果が期待値よりも低くなるケースも多くあります。しかし、どのような運動が、その後の身体活動や熱産生を低下させるかはよく分かっておらず、その生体内メカニズムも不明です。

身体的負荷が大きい高強度運動は、過剰なストレス応答を伴い、運動後の身体活動やその他の生理的活動の低下を招くと推察されます。さらに、高強度運動はマウスやラットにおいて、ストレスホルモンとも呼ばれるコルチコステロン^{注2)}分泌を促進することが知られていますが、コルチコステロンは身体活動と同様に概日リズム^{注3)}を有し、身体活動量の調節にも関与しています。従って、高強度運動は、コルチコステロンと関連して運動後の身体活動を低下させるとともに、熱産生の低下により体重増加を招く可能性があります。

これまで、運動がその後の身体活動へ及ぼす影響に関する研究は、主にヒトを対象として実施されてきました。しかし、ヒト実験では、身体活動に影響を及ぼしうる社会的・環境的・遺伝的要因を完全に統制することが困難であり、運動とその後の身体活動との関係について一致した見解が得られにくいという課題があります。そこで本研究は、実験環境を統制できるマウスモデルを活用し、運動後の身体活動や熱産生の低下が高強度運動でのみ生じるかどうかを、コルチコステロンの関与とともに検証しました。

研究内容と成果

本研究では、運動後の身体活動や熱産生の低下が高強度運動特異的に生じ、その背景にはコルチコステロンが関与するという仮説を設定しました。そこで、マウスの乳酸性作業閾値^{注4)}(LT: Lactate threshold)を検証した先行研究を踏まえて、トレッドミル走による運動において、LT レベルに相当する分速 15 m を中強度運動、LT を超えレベルの分速 25 m を高強度運動と設定しました。また、マウスの身体活動量(トレッドミル走以外の、飼育ケージ内活動量)と深部体温を評価するために、加速度計と体温センサーを内蔵した小型デバイスを活用し、運動の2日前から運動後3日目まで経時的に測定しました(図1)。さらに、マウスの起床前にあたる運動後6時間における血漿コルチコステロン値を評価し、運動による身体活動の変化との関係を検討しました。

その結果、高強度運動でのみ、運動後の身体活動と深部体温の低下が観察されました(図2 A, B)。運動により身体活動が低下するほど深部体温も低下しており(図2 C)、運動後の体温低下は、身体活動に起因する熱産生の低下を反映する可能性が示されました。また、運動後24時間における体重の変化量は、安静群と比較して高強度運動群で有意に大きい値を示しました(図2 D)。深部体温と体重の変化量に正の相関関係が認められたことから(図2 E)、高強度運動後の熱産生の低下は、その後の体重増加を促す可能性が示唆されました。

さらに、身体活動と深部体温が類似した概日リズムを示すことに着目し(図3 A, B)、運動後の両指標の位相のずれ(ラグ)の解析から、その同調性が運動により変化するかどうか検討したところ、高強度運動によりラグが負の方向に大きくなることが確認されました(図3 C)。これは、本来であれば身体活動の位相が体温に先行するのに対して、高強度運動の場合はその関係が逆転し、体温の位相が身体活動に先行することを意味します。さらに、運動後6時間における血漿コルチコステロン値が高いほど、運動後に身体活動が低下しにくい結果が示されました(図3 D, E)。これらの結果は、身体活動と体温の同調性やコルチコステロンの概日リズムの乱れに起因して、高強度運動後に身体活動が低下した可能性を示唆します。

今後の展開

本研究により、高強度運動は身体活動の低下とそれに起因した熱産生の低下を生み、体重増加につながる事が明らかになりました（図4）。身体活動と体温の同調性やコルチコステロンの概日リズムに着目することで、今回確認された現象のメカニズム解明が進むことが期待されます。今後、運動後の身体活動を低下させない運動条件に関して、強度だけでなく、様式、量、環境にも着目して検討を進める予定です。また、今回は健常の雄性マウスを対象としましたが、肥満マウスや雌性マウスを用いることで、より広い対象に運動の有益性を適用できる運動条件の検証も必要です。さらに、運動後の身体活動を低下させる神経生物学的要因の解明が進めば、運動後の身体活動低下を予測・予防するバイオマーカーの確立につながると考えられます。

参考図

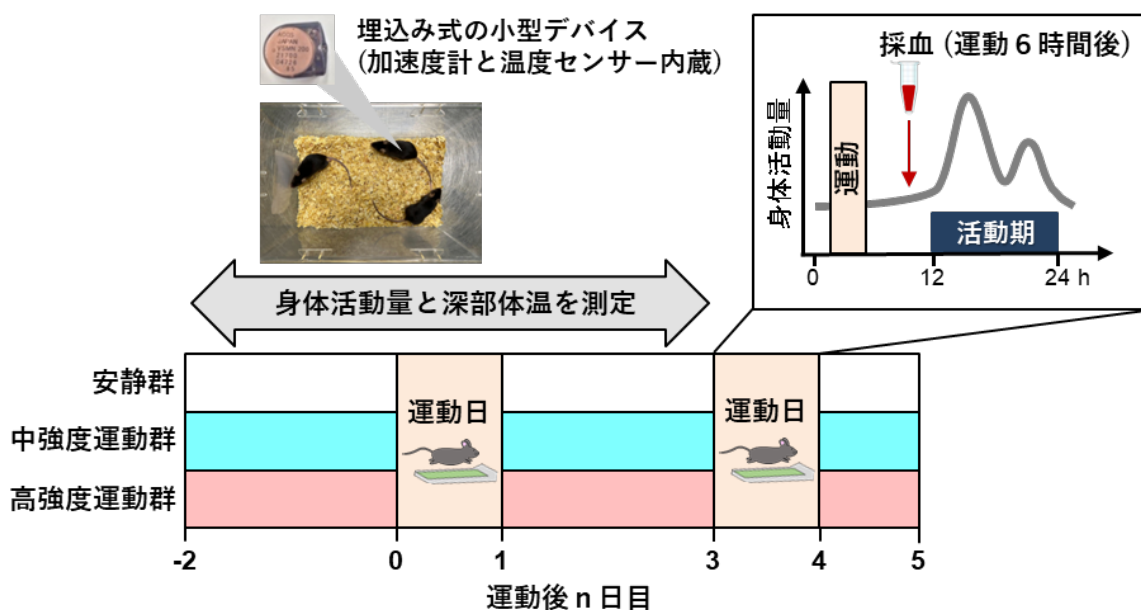


図1 本研究の実験プロトコル

安静群、中強度運動群、高強度運動群の3群を設定した。事前にマウスの腹腔内に小型デバイスを埋め込み、運動2日前から運動後3日目までの身体活動量と体温を測定した。運動による身体活動の変化とコルチコステロンとの関係を検討するために、1回目の運動から3日後に同様の運動を実施し、マウスの起床前にあたる運動6時間後に採血し、血漿コルチコステロン値を評価した。

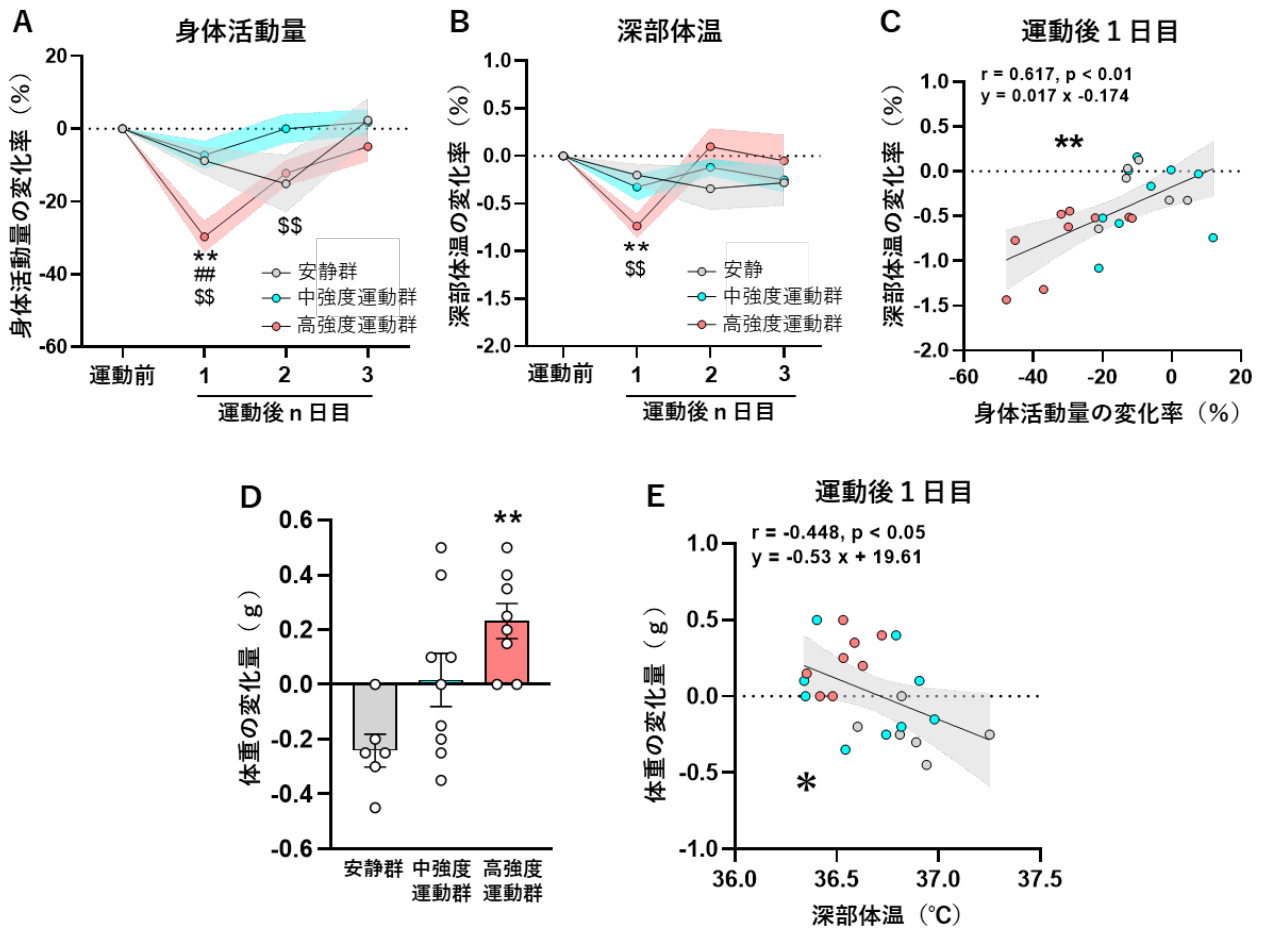


図2 高強度運動がその後の身体活動量と深部体温を下げ、体重を増やす

A: 中強度運動群は運動後に身体活動が低下しなかったが、高強度運動群では運動後1日目の活動期に身体活動が低下した (**p < 0.01 vs. 運動前、##p < 0.01 vs. 安静、\$\$p < 0.01 vs. 中強度運動)。B: 深部体温の低下も、高強度運動群でのみ運動後1日目に確認された (**p < 0.01 vs. 運動前、\$\$p < 0.01 vs. 中強度運動)。C: 運動後1日目に身体活動量を保っている個体ほど深部体温が変化していないことから、運動後の体温変化は身体活動に起因する熱産生の変化を反映している可能性が示唆された。D: 高強度運動は、運動後24時間の体重増加を促進した (**p = 0.01 vs. 安静)。E: 運動後1日目の活動期における平均深部体温が体重の変化量と負の相関関係を示したことから、運動後の熱産生の低下は体重増加を導く可能性が示唆された。

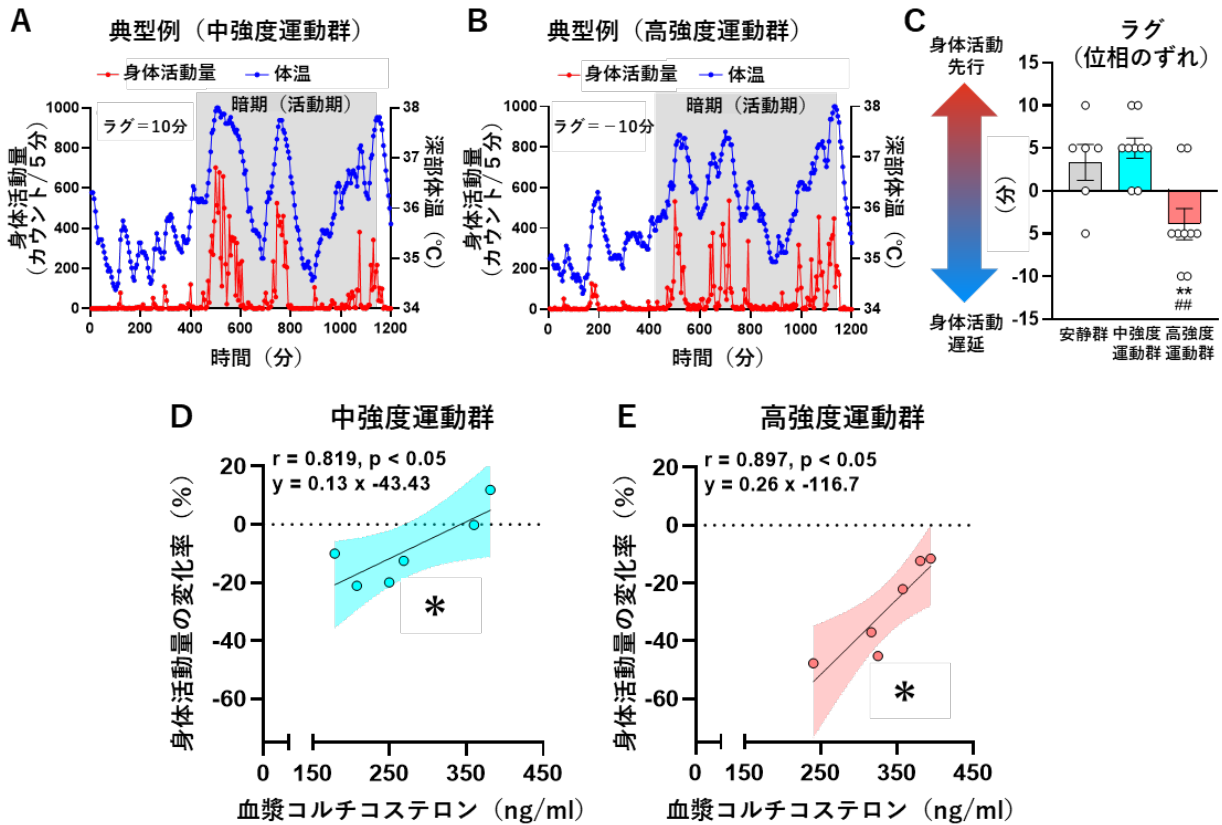


図3 高強度運動がその後の身体活動と体温の同調性やコルチコステロンの概日リズムを乱す
 中強度運動群 (A) と高強度運動群 (B) の運動後1日目の身体活動量と深部体温の日内変動の典型例。
 C: 身体活動量と深部体温の位相のずれ(ラグ)を解析すると、高強度運動後にはラグが負の方向に大きくなり (** $p < 0.01$ vs. 安静群、## $p < 0.01$ vs. 中強度運動群)、身体活動の位相が体温に対して遅延するように変化したと考えられた。D, E: 運動後6時間における血漿コルチコステロン値が高いほど、運動後に身体活動量が減少しない結果が示された。

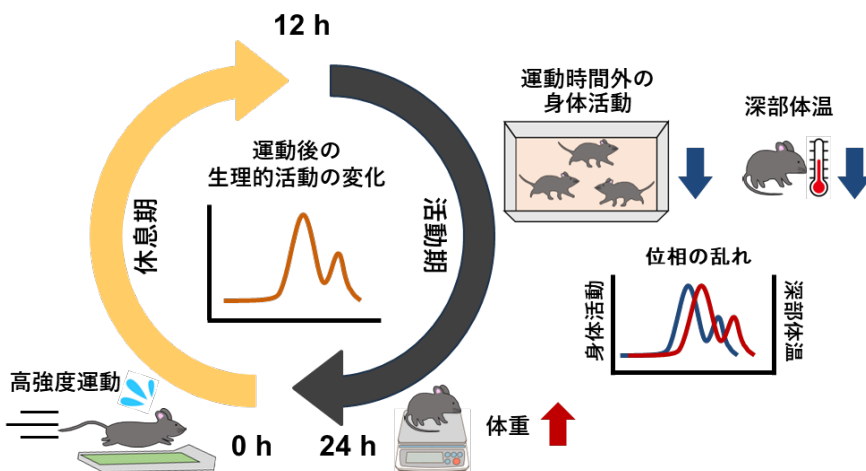


図4 本研究成果のまとめ
 高強度運動はその後の身体活動量を減少させ、それに伴い熱産生が低下することで、体重増加を促す可能性が示唆された。運動後に身体活動量が低下する背景には、深部体温との同調性が乱れることなど、生体内の概日リズムの乱れが関与している可能性がある。

用語解説

注1) 身体活動

安静にしている状態よりも多くのエネルギーを消費する骨格筋の収縮を伴う全ての活動を指す。

注2) コルチコステロン

ストレス負荷に応じてげっ歯類の副腎皮質から分泌される糖質コルチコイド（ステロイドホルモン）の一つで、糖新生を促進する。

注3) 概日リズム

覚醒度や体温、ホルモン濃度などのさまざまな生理的機能が、およそ1日周期で上昇・下降すること。

注4) 乳酸性作業閾値

運動強度の上昇に伴って血中乳酸値が急上昇を始めるポイントのこと。最大酸素摂取量の50~60%に相当する。

研究資金

本研究は、JSPS 科研費 22H03478（代表：松井 崇）、22K11528（代表：西島 壮）、22K21199（代表：船橋 大介）、24K20595（代表：船橋 大介）、JST 創発的研究支援事業（代表：松井 崇、JPMJFR205M）の一環として実施されました。

掲載論文

【題 名】 Acute Vigorous Exercise Decreases Subsequent Non-Exercise Physical Activity and Body Temperature Linked to Weight Gain.

（一過性の激しい運動はその後の体重増加と関連して非運動性身体活動と体温を低下させる）

【著者名】 船橋 大介^{1,2}, 土橋 祥平¹, 鮫島 和貴¹, 下山 寛之^{2,3}, 西島 壮⁴, 松井 崇^{1,2*}

¹筑波大学体育系 運動生化学・スポーツ神経生物学領域

²筑波大学ヒューマン・ハイ・パフォーマンス先端研究センター

³筑波大学体育系 運動栄養学研究室

⁴東京都立大学大学院人間健康科学研究科

* 責任著者

【掲載誌】 *Medicine & Science in Sports & Exercise*

【掲載日】 2024 年 5 月 15 日

【DOI】 10.1249/MSS.0000000000003487

問い合わせ先

【研究に関すること】

松井 崇（まつい たかし）

筑波大学 体育系 助教

URL: <https://www.tsukuba-matsui-lab.org/>

【取材・報道に関すること】

筑波大学広報局

TEL: 029-853-2040

E-mail: kohositu@un.tsukuba.ac.jp

東京都立大学管理部 企画広報課 広報係

TEL: 042-677-1806

E-mail: info@jmj.tmu.ac.jp