

暑熱下では運動中のカフェイン摂取によりパフォーマンスが向上する

暑熱下において、運動前にカフェインを摂取すると、運動時の過換気や脳血流量減少などの生理的ストレスを増大させる可能性があります。一方、本研究では、運動中にカフェインを摂取すると、前述の生理的ストレス増大を伴わずに、長時間運動の後半にパフォーマンスが向上する可能性を見いだしました。

飲食料品などから日常的に摂取されるカフェインは、運動パフォーマンス向上に有効であることが広く知られていますが、近年、暑熱環境下ではその効果が得られない可能性が指摘されています。本研究グループはこれまでに、暑熱下での運動前にカフェインを摂取すると、深部体温上昇に伴う過度な呼吸（高体温誘発性換気亢進）や、それに起因する脳血流の低下反応などの生理的ストレスが増大することを明らかにしています。これらの生理応答は、血中カフェイン濃度が運動前から急激に上昇することで引き起こされ、カフェインの有益な効果を打ち消している可能性があります。

本研究では、健常な若年男女を対象に、暑熱下での長時間運動において、運動途中に中用量のカフェインを摂取したときの効果を調べました。その結果、運動時の血中カフェイン濃度は徐々に上昇し、運動終盤に実施した高強度運動の継続時間が延長しました。また、高強度運動の直前には、運動の主観的なきつさが軽減されました。一方で、運動時の高体温誘発性換気亢進反応や脳血流低下反応は、カフェイン摂取によって増大することはありませんでした。

以上のことから、暑熱下においては、カフェインを運動中に摂取することで、運動時の生理的ストレスを増大させることなくカフェインの有益な効果が発揮され、パフォーマンスの向上につながると考えられます。ただし、パフォーマンスが向上した場合には結果的に仕事量が増加するため、運動終了時の深部体温や呼吸・循環系への負荷が増大するリスクに留意する必要があります。

研究代表者

筑波大学 体育系

藤井 直人 准教授

片桐 陽 研究員

研究の背景

多くのスポーツでは、長時間の運動中に高いパフォーマンスの発揮が求められます。その対策の一つとして、飲料食品に含まれるカフェインの運動前摂取がパフォーマンス向上に有効であることは広く知られています。しかし近年、地球温暖化に伴い、暑熱環境下での競技場面が増加しており、こうした条件下ではカフェインの有益な効果が発揮されない可能性が指摘されています。

暑熱下運動時には、深部体温^{注1)}の上昇に伴って、代謝量に見合わない過度な換気^{注2)}（高体温誘発性換気亢進反応）が生じ、体内の二酸化炭素が過剰に排出されます。その結果、動脈血中の二酸化炭素の分圧が低下し、脳血流量が減少します。これが脳での熱除去を妨げ、脳温上昇および中枢疲労を招き、運動効率を低下させる可能性があります。本研究グループはこれまでに、暑熱下運動前に中用量のカフェインを摂取すると、高体温誘発性換気亢進および脳血流低下反応などの生理応答が増大することを明らかにしています（Fujii et al. *Med Sci Sports Exerc* 2020、参考図左下）。これらの生理応答がカフェインの有益な効果を打ち消す可能性があり、パフォーマンス向上には、こうした負の影響を引き起こさないカフェイン摂取方法の構築が必要です。

上述の先行研究では、運動 1 時間前にカフェインを摂取しており、運動開始時には血中カフェイン濃度が急激に上昇していたと考えられます。そこで本研究では、暑熱下での長時間運動時において、カフェインを運動途中に摂取すれば、血中のカフェイン濃度が徐々に上昇し、高体温誘発性換気亢進や脳血流低下反応の増大を最小限に抑えつつ、運動終盤における高強度運動の継続時間が延長（パフォーマンスが向上）する、という仮説を検討しました。

研究内容と成果

本研究では、健康な若年男女 12 名を対象に、気温 35°C、湿度 50%の暑熱下において、中強度の自転車運動を実施した後、高強度の自転車運動を疲労困憊まで行いました。中強度運動開始 5 分目に、二重盲検ランダム化比較試験^{注3)}を用いて、体重 1 kg あたり 5 mg のブドウ糖（プラセボ）またはカフェインを摂取しました（参考図上）。実験中に、血清カフェイン濃度、食道温（深部体温の指標）、呼吸代謝パラメーター（換気量など）、中大脳動脈平均血流速度（脳血流量の指標）、主観的運動強度^{注4)}などを測定しました。

その結果、カフェインを摂取した場合（カフェイン条件）は、運動時に血清カフェイン濃度が徐々に上昇し、運動終盤に実施した高強度運動の継続時間はプラセボ条件よりも延長しました（参考図右下）。また、中強度運動終了時（高強度運動の直前）における運動の主観的なきつさは、カフェイン条件でプラセボ条件よりも低値を示しました。一方で、換気量は両条件とも運動時間経過に伴って増加し、深部体温上昇に対する換気量増加の傾き（高体温誘発性換気亢進反応の指標）に条件間の差はみられませんでした（参考図下）。同様に、運動時の脳血流低下反応にも条件間の差はみられませんでした。

以上のことから、暑熱下での長時間運動時において、カフェインを運動中に摂取すると、高体温誘発性換気亢進反応や脳血流低下反応などの生理的ストレスが増大することなく、パフォーマンスが向上すると推察されます。ただし、カフェインによってパフォーマンスが向上した場合、結果的に仕事量が増加するため、運動終了時の深部体温や呼吸・循環系への負荷が増大するリスクに留意する必要があります。

今後の展開

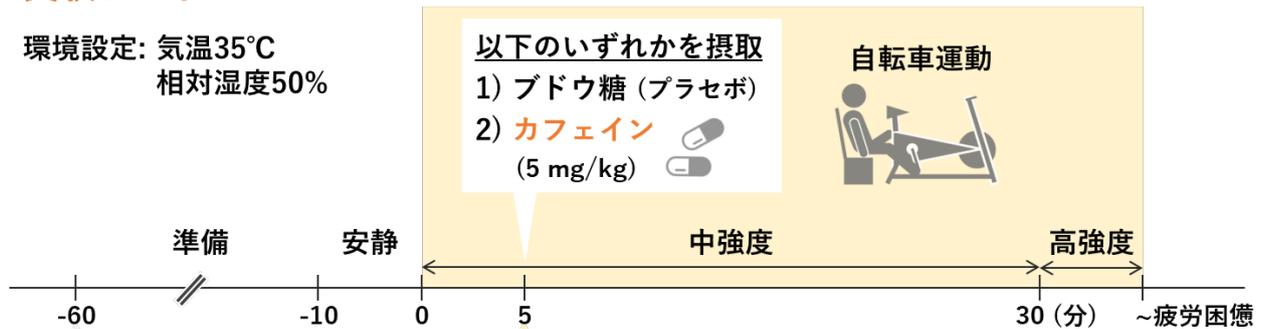
本研究の知見は、暑熱環境下の運動時におけるカフェイン摂取のタイミングを再考する上で重要です。今後は、より幅広い条件（摂取量、摂取タイミングの個別化、習慣化の影響など）を考慮した研究を進めます。暑熱下でのカフェイン摂取の最適な方法の確立は、競技パフォーマンスの最大化につながると期待されます。

参考図

実験プロトコル

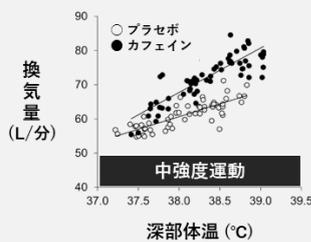
環境設定: 気温35°C
相対湿度50%

※二重盲検ランダム化比較試験



先行研究 (Fuji et al. 2020)

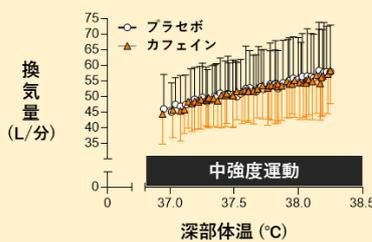
運動1時間前に摂取すると、



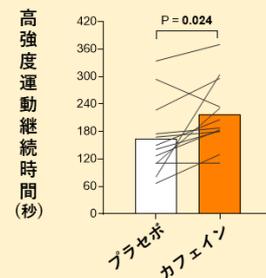
✓ 換気亢進反応が**増大**
⇒ 脳血流低下反応を**助長**

本研究の主な結果

運動中に摂取すると、



✓ 換気亢進反応は**増大しない**
⇒ 脳血流低下反応を**助長しない**



✓ 長時間運動終盤の**パフォーマンス向上**

図. 本研究の概要

参加者は、気温 35°C、湿度 50%の暑熱下において、30 分間の中強度自転車運動を実施し、それに続いて高強度運動を疲労困憊まで行い、運動継続時間（運動パフォーマンス）を評価した。また、中強度運動開始 5 分目に、体重 1 kg あたり 5 mg のブドウ糖（プラセボ）またはカフェインを摂取した。その結果、カフェイン条件ではプラセボ条件に比べて、高体温誘発性換気亢進は増大しない（脳血流低下を助長しない）こと、高強度運動のパフォーマンスが向上すること、などが示された。

用語解説

注1) 深部体温

ヒトの体温は身体の深部に近いほど高く、体表に近いほど低くなる温度勾配が存在する。身体中心部の温度を深部体温といい、食道温、直腸温、鼓膜温や内臓温度等がその指標として用いられる。

注2) 換気

空気を肺へ出し入れする機械的な過程を換気（一般的には呼吸）という。

注3) 二重盲検ランダム化比較試験

第三者が無作為に条件を割り当て、研究対象者と研究者の双方にその情報を伏せることで、先入観によ

るバイアスを排除し、介入効果を厳密に比較・検証する手法。

注4) 主観的運動強度

運動強度（疲労度）を主観的に数値で評価したもの。一般に 6-20 の範囲で設定されており、20 に近づくほど運動がきつく感じることを表す。

研究資金

本研究は、科研費による研究プロジェクト（22H00499）の一環として実施されました。

掲載論文

【題名】 In-exercise caffeine improves exercise performance in the heat without exacerbating hyperventilation and brain hypoperfusion

（暑熱下運動中のカフェイン摂取は、過換気や脳低灌流の増大を伴わずに運動パフォーマンスを向上させる）

【著者名】 Akira Katagiri, Rikuto Otsuka, Takeshi Nishiyasu, and Naoto Fujii

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

【掲載日】 2025 年 6 月 23 日

【DOI】 10.1249/MSS.0000000000003792

問い合わせ先

【研究に関すること】

藤井 直人（ふじい なおと）

筑波大学 体育系 准教授

URL: <https://exerphysiol.taiiku.tsukuba.ac.jp>

【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