

〔原著論文〕

低用量のカフェイン摂取が大学生野球投手の ピッチングパフォーマンスに及ぼす影響

石 田 克 樹 *
黒 川 泰 嗣 **
岩 橋 眞南実 **
柳 岡 拓 磨 **
長谷川 博 **

Effect of low-dose caffeine intake on pitching
performance in university baseball pitchers

Katsuki Ishida

(Faculty of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University)

Yasutsugu Kurokawa

(Graduate School of Humanities and Social Sciences, Hiroshima University)

Manami Iwahashi

(Graduate School of Humanities and Social Sciences, Hiroshima University)

Takuma Yanaoka

(Graduate School of Humanities and Social Sciences, Hiroshima University)

Hiroshi Hasegawa

(Graduate School of Humanities and Social Sciences, Hiroshima University)

Abstract

Pitching speed in baseball pitchers decreases as the innings go by and the number of pitches increases. Pitchers need to keep the fastball speed for long time. Low-dose caffeine intake has been shown to have ergogenic effects in various sports with minimal side effects and may also have ergogenic effects in baseball pitchers. In this study, we aimed to investigate the effects of low-dose caffeine intake on pitching performance in baseball pitchers. Eight college pitchers performed a 17-pitch x 7-inning pitching test. The experiment was conducted in a double-blind, randomized, crossover design with two conditions: a caffeine condition (3 mg/kg) and a placebo condition. Ball velocity, hip adduction and abduction muscle strength, heart rate, blood lactate, session rate of perceived exertion, two-dimensional mood scale, and the side effects were measured. Average ball velocity in the caffeine condition was significantly higher than in the placebo condition at 4 ($p = 0.049$), 5 ($p < 0.001$), 6 ($p = 0.016$), 7 ($p = 0.010$) innings. Hip adductor muscle strength was higher in 1 ($p = 0.045$), 4 ($p = 0.016$), 5 ($p = 0.036$), 6 ($p = 0.005$), 7 ($p = 0.009$) innings in the caffeine condition. Session rating of perceived exertion and two-dimensional mood scales (positive arousal and pleasantness) improved in the caffeine condition. Few side effects were observed in the caffeine

* 広島大学総合科学部

** 広島大学大学院人間社会科学研究科

condition. Therefore, low-dose caffeine intake improves hip adductor muscle strength, reduces fatigue, improves mood states, and suppresses the decrease in ball velocity without any side effects.

Keywords: Pitching, Ball velocity, Caffeine, Rate of perceived exertion, Mood

緒言

野球における投手の球速は、ピッチングパフォーマンスにおいて重要な要素の一つである。先発投手は1試合100球以上の投球を行わなければならない場合もあり、最も生理的負担の大きいポジションである。大学生投手のピッチングパフォーマンスは、イニングを重ねることで投球数が増加し、ストレートの球速が有意に低下することが報告されている(Yanagisawa and Taniguchi, 2018)。また、プロ野球の投手でも最終回に球速が有意に低下することが報告されている(Murray et al., 2001)。投手にとって球速を維持することは重要であり、速い球を持続的に繰り返し投球する能力が求められる。

カフェインは世界的に人気のあるエルゴジェニック薬であり、筋持久力(Wilk et al., 2019a)、最大筋力(Diaz-Lara et al., 2016)、瞬発的パワー(Lago-Rodriguez et al., 2021)など様々な形態の運動パフォーマンスを改善させることが知られている。カフェインのエルゴジェニック効果は、運動開始30~90分間前に、3~9 mg/kgの用量のカフェインを摂取した際に認められている(Grgic et al., 2020)。その作用機構は、カフェインがアデノシン受容体の拮抗薬として働くためであるとされている。カフェインはアデノシンと構造が類似しており、神経細胞に抑制作用を持つアデノシン受容体A1, A2a, A2bを遮断する。末梢の筋レベルでは、筋小胞体からのカルシウムイオンの放出を促進し、再吸収も阻害することで、筋の収縮力を高めることができる(Davis et al., 2003; Anselme et al., 1992)。また、末梢だけでなく中枢性の作用による効果も報告されている。中枢性の作用ではカフェインがアデノシン受容体に

対する拮抗作用により、興奮性神経伝達物質であるドーパミンやアドレナリンの放出が促進され、神経細胞は興奮し、脳を活性化させる(Zheng et al., 2014)。これらによって、主観的な疲労感や倦怠感が緩和され(Duncan et al., 2013)、心理的なモチベーションが向上し(Dominguez et al., 2021)、運動パフォーマンスが改善する(Talanian and Spriet, 2016)。

近年、低用量のカフェイン摂取の実用性に関心が高まっている(Spriet, 2014)。低用量(3 mg/kg)のカフェインを摂取した場合、中用量(6 mg/kg)および高用量(9 mg/kg)と比較して、サイクルエルゴメーターを用いた間欠的運動におけるパワー出力、さらには注意力及び処理速度の認知機能が有意に向上した(Wang et al., 2020)。また、高用量のカフェイン摂取は、頭痛及び不安などの副作用を引き起こし、運動パフォーマンスに悪影響を及ぼす可能性がある(Astorino and Roberson, 2010)。そのため、低用量のカフェイン摂取は副作用の影響も少なく運動パフォーマンスを向上させることができる。

カフェイン摂取によるエルゴジェニック効果は様々なスポーツにおいて観察されている。女子のプロバスケットボール選手と男子のセミプロバスケットボール選手において、3 mg/kgのカフェインを摂取することによって垂直跳びの跳躍高が平均2.7%向上したことが報告されている(Puente et al., 2017)。また、男子テニス選手を対象とし、長時間におけるテニスの試合を模倣した研究では、偽薬(プラセボ)を摂取した条件と比較して3 mg/kgのカフェインを摂取した条件で最終セットのサーブスピードが3.8%向上した(Hornery et al., 2007)。男女のプロハンドボール選手においては3 mg/kgのカフェインを摂取す

ると、9 m のボールスローの球速が2.8~4.3% 向上した (Munoz et al., 2020)。これらのようにスポーツ競技現場におけるカフェイン摂取はパフォーマンス向上に効果的な方法といえる。

以上のように、様々なスポーツでカフェインのエルゴジェニック効果が検討されているが、野球のピッチングパフォーマンスに及ぼす影響を調べた研究は著者らが調べた限り報告されていない。野球のピッチングパフォーマンスに求められることは、一球ごとに高い速度の投球を行う瞬発的なパワーと複数イニングで繰り返し投球を行う間欠的持久力であると考えられる。これまでのカフェインに関する先行研究でハンドボール選手の投球速度や瞬発的なパワーへのエルゴジェニック効果が認められていることから、カフェイン摂取により野球投手の投球スピードも向上する可能性がある。また、カフェイン摂取により間欠的持久力の向上が認められているように (Schneiker et al., 2006)、投球を繰り返していくために必要な間欠的な持久力を改善することができ、特に先発投手における試合後半のピッチングパフォーマンスの低下を抑制できる可能性がある。

以上のことから、本研究の目的は低用量のカフェイン摂取が大学生投手のピッチングパフォーマンスに与える影響を明らかにすることとした。本研究では、球速をピッチングパフォーマンスと定義し、低用量のカフェイン摂取が投手のピッチングパフォーマンスに影響を与え、特に後半イニングの球速低下を抑制するという仮説を立てた。

方法

被験者

被験者は日常的にカフェイン摂取の少ないオーバースローの大学生硬式野球部投手8名 (年齢: 20.3 ± 0.8 歳, 身長: 174.5 ± 3.3 cm, 体重: 69.0 ± 2.5 kg, 右利き6名, 左利き2名) とした。日常的にカフェイン摂取が少ないとは、カフェインを多く含む食品 (コーヒー, エナジードリンク, 紅茶など) を週1回程度, または全く摂取していないと定義した。測定時に肩や肘などに痛みや違

和感のある被験者はおらず、視覚、聴力を含めた感覚器においても投球動作を阻害するような身体的特徴を持った者は含まれなかった。被験者には実験前日に激しい投球練習は控えるように指示した。研究に先立ち、全ての被験者に対して実験の目的と内容、起こり得るリスクについて説明し、実験に参加する同意を得た。本実験は広島大学総合科学部の倫理委員会の承認を得て実施した (承認番号 03-69)。

実験プロトコル

1 実験条件

本実験は、二重盲検無作為化クロスオーバーデザインにてカフェイン条件とプラセボ条件の2条件を行った。カフェイン条件では、低用量とされる3 mg/kgのカフェイン (ファイザー社, カフェイン水和物) を摂取し、プラセボ条件では同量の乳糖 (丸石製薬社, 乳糖水和物原末) を摂取した。各実験は1回目に投与された薬物の影響と疲労の影響を完全に排除するために6日間以上の間隔をおいて行った。

2 実験手順

血中カフェイン濃度は摂取60分後にピークに達し、それらの値は3~4時間持続することが報告されているため (McClellan et al., 2016)、本実験では被験者は投球テスト開始60分前に透明なカプセル (日進医療器社, 食用カプセル) に入ったカフェイン, もしくは乳糖を150mLの常温の水 (日本コカ・コーラ社, いろはす) と一緒に摂取した。その後、10分間の座位安静の後40分間のウォーミングアップを行った。ウォーミングアップは20分間のランニングまたはストレッチ, 10分間のキャッチボール, 10分間のブルペンでの投球練習で構成され、各実験で同様のウォーミングアップを行った。ウォーミングアップ終了後、10分間の座位安静の後、投球テストを行った。

投球テスト

投球テストは1イニング17球とし、7イニン

グ行った。投球はピッチャーマウンドからキャッチャーに向かってバッターを打席に立たせた状態でストライクゾーンの真ん中に全球ストレートで全力投球するように指示した（ピッチャープレートとホームベースの距離：18.44m）。投球前練習は1分40秒とし、1球ごとの間隔は20秒とした。イニング終了後は7分間の休息を設け、7イニングを投球し終えた時点で終了とした。

各指標の測定方法

ピッチングパフォーマンス

ピッチングパフォーマンスの指標として球速を測定した。球速はホームベースの後方3mの位置にスピードガン（Applied Concepts社, Stalker sport2）を三脚により設置し、イニング毎の最高球速、平均球速を評価した。全ての試行で同一のキャッチャー（野球歴15年）がストライクかどうかを判定し、全投球のストライク率をイニングごとに算出した。

筋力指標

筋力の指標として股関節内転筋力と股関節外転筋力を測定した。測定には内転外転筋力測定器Ⅱ（竹井機器工業社, T.K.K.3367b）を用いて、投球テスト前（Pre）と各イニング終了後に測定した。内転外転筋力測定器は大腿部の間に設置し、ベルトで固定した。体幹は固定しなかった。被験者は内転外転筋力測定器のパッドを挟み、押すことで股関節内転筋力を測定し、固定されたベルトを引くことで股関節外転筋力を測定した。それぞれの試行は全力で1回ずつ行うように指示した。

生理的指標

生理的指標として心拍数と血中乳酸を測定した。心拍数はハートレートモニター（POLAR社, V800）を用いて、投球テスト開始から終了まで断続的に測定した。各イニングでの心拍数の最も高い値を最高心拍数とし、5～14球の投球の平均を平均心拍数として評価した。血中乳酸は穿刺器（ロシユダイアベティスケア社, セーフティブ

ロプラス）を用いて非利き手の指先から採血し、血中乳酸測定器（アークレイマーケティング社, LT-1730）を用いて投球テスト開始前、7イニング終了後に測定した。

主観的指標

主観的指標として主観的運動強度（Session Rating of Perceived Exertion：セッションRPE）と二次元気分尺度を測定した。セッションRPEは各イニング終了後にBorg（1982）の15段階のスケールを用いて評価した。二次元気分尺度はウォーミングアップ前と後、各イニング終了後に測定した。二次元気分尺度は、坂入らが考案した心理状態の測定を行うものである。被験者に8項目を0（全くそうでない）から5（非常にそう）までの6段階で評価させ、「ポジティブ覚醒得点」「ネガティブ覚醒得点」「快適度」「覚醒度」の4つの指標を測定した（坂入ら, 2003）。これらの指標は、4指標とも-10点～10点の範囲の数値で表示され、それぞれは以下の式にて算出した。各指標とも得点が高いほど、各心理状態の意味・要素が強いことを示す。

ポジティブ覚醒得点（P）

$$= \text{項目4} + \text{項目8} - \text{項目3} - \text{項目7}$$

ネガティブ覚醒得点（N）

$$= \text{項目2} + \text{項目6} - \text{項目1} - \text{項目5}$$

快適度 = (P-N)/2

覚醒度 = (P+N)/2

また実験終了後、カフェイン摂取による副作用の影響に関するアンケート調査を実施した。各項目「頻脈」「尿量の増加」「頭痛」「胃腸障害」「めまい」「吐き気」を1（ない、ほとんど感じなかった）、2（少し感じた）、3（やや感じた）、4（強く感じた）の4段階で評価した。

環境条件

各実験時の環境条件は湿球黒球温度（WBGT）計（エー・アンド・デイ社, 熱中症指数モニターAD-5695）を用いて、WBGT、気温、黒球温度、相対湿度をウォーミングアップ開始前、投球テス

ト開始前、投球テスト終了後に測定した。

統計処理

全ての値は平均値±標準偏差で示した。全ての統計はSPSS (Ver.25) を用いて分析した。全ての項目は、二要因 (条件×イニング) の繰り返しのある分散分析により分析した。自由度はGreenhouse-Geisserの ϵ による補正を行った。交互作用が認められた場合には、Bonferroniの方法を用いて事後検定を実施した。統計的有意水準は5%未満とした。

結果

環境条件

実験時のWBGTの平均は $16.8 \pm 7.8^\circ\text{C}$ 、気温は $20.4 \pm 7.9^\circ\text{C}$ 、黒球温度は $22.5 \pm 8.5^\circ\text{C}$ 、相対湿度は $51.0 \pm 13.8\%$ であった。

ピッチングパフォーマンス

1回の平均球速はカフェイン条件で $122.1 \pm 7.2\text{km/h}$ 、プラセボ条件で $121.4 \pm 6.9\text{km/h}$ であった。7回の平均球速はカフェイン条件で $121.7 \pm 6.7\text{km/h}$ 、プラセボ条件で $116.5 \pm 7.3\text{km/h}$ であった。二元配置分散分析の結果、平均球速では交互作用 ($p = 0.005$)、イニングの主効果 ($p < 0.001$)、条件の主効果 ($P = 0.015$) が認められた。事後検定の結果、4回 ($p = 0.049$)、5回 ($p < 0.001$)、6回 ($p = 0.016$)、7回 ($p = 0.010$) でカフェイン条件はプラセボ条件と比較して有意に高値を示した。また、プラセボ条件で1回と比べ7回で有意な低下が認められた ($p = 0.049$) (Fig. 1 A)。

1回の最高球速はカフェイン条件で $125.1 \pm 7.4\text{km/h}$ 、プラセボ条件で $123.8 \pm 6.6\text{km/h}$ であった。7回の最高球速はカフェイン条件で $123.4 \pm 7.7\text{km/h}$ 、プラセボ条件で $121.1 \pm 6.2\text{km/h}$ であった。最高球速では交互作用 ($p = 0.010$)、イニングの主効果 ($p = 0.002$) は認められたが、条件の主効果 ($p = 0.081$) は認められなかった。事後検定の結果、6回 ($p = 0.010$) でカフェイン条件はプラセボ条件と比較して有意に高値を示し

た (Fig. 1 B)。

ストライク率では交互作用 ($p = 0.970$)、イニングの主効果 ($p = 0.626$)、条件の主効果 ($p = 0.240$) は認められなかった。全投球のストライク率はカフェイン条件で $47.1 \pm 0.1\%$ 、プラセボ条件で $43.8 \pm 0.1\%$ であった。全投球のストライク率にもカフェイン条件とプラセボ条件で有意な差は認められなかった ($p = 0.245$) (Fig. 1 C)。

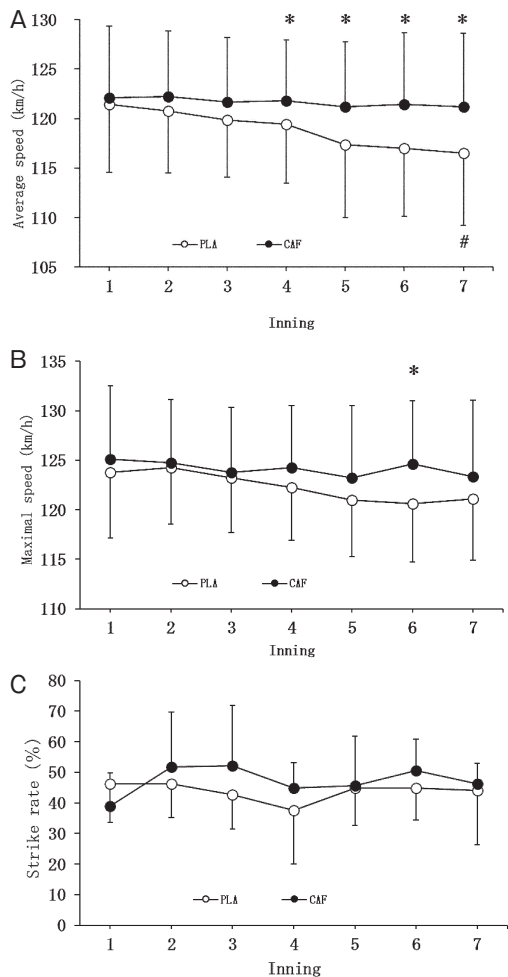


Figure 1. Changes in average speed (A), maximal speed (B), and strike rate every inning. The values are expressed as mean \pm SD ($n = 8$). *: significantly different between the conditions ($p < 0.05$). #: significantly different compared to the 1st inning ($p < 0.05$). CAF: caffeine, PLA: placebo.

筋力指標

Preの股関節内転筋力はカフェイン条件で40.1 ± 5.7kg, プラセボ条件で41.8 ± 5.1kgであった。7回終了後ではカフェイン条件で45.1 ± 5.9kg, プラセボ条件で36.3 ± 7.7kgであった。股関節内転筋力では交互作用 (p = 0.026), 条件の主効果 (p = 0.003) は認められたが, イニングの主効果 (p=0.078)は認められなかった。事後検定の結果, 1回 (p = 0.045), 4回 (p = 0.016), 5回 (p = 0.036), 6回 (p = 0.005), 7回 (p = 0.009) でカフェイン条件はプラセボ条件と比較して有意に高値を示した (Fig.2A)。

Preの股関節外転筋力はカフェイン条件で44.8 ± 9.9kg, プラセボ条件で49.5 ± 9.9kgであった。7回終了後ではカフェイン条件で47.9 ± 13.8kg, プラセボ条件で45.2 ± 9.9 kgであった。股関節

外転筋力では交互作用 (p = 0.135), イニングの主効果 (p = 0.131), 条件の主効果 (p = 0.394) は認められなかった (Fig.2B)。

生理的指標

最高心拍数, 平均心拍数ともに交互作用 (最高心拍数 p = 0.028, 平均心拍数 p = 0.014), イニングの主効果 (最高心拍数 p < 0.001, 平均心拍数 p < 0.001), 条件の主効果 (最高心拍数 p = 0.031, 平均心拍数 p = 0.036) が認められた。最高心拍数では, 4回 (p = 0.029), 6回 (p = 0.044), 7回 (p = 0.034), 平均心拍数では7回 (p = 0.049) においてカフェイン条件はプラセボ条件と比較して有意に高値を示した (Fig. 3)。

投球開始前の血中乳酸値はカフェイン条件で1.8 ± 0.2mmol/L, プラセボ条件で1.7 ± 0.2mmol/

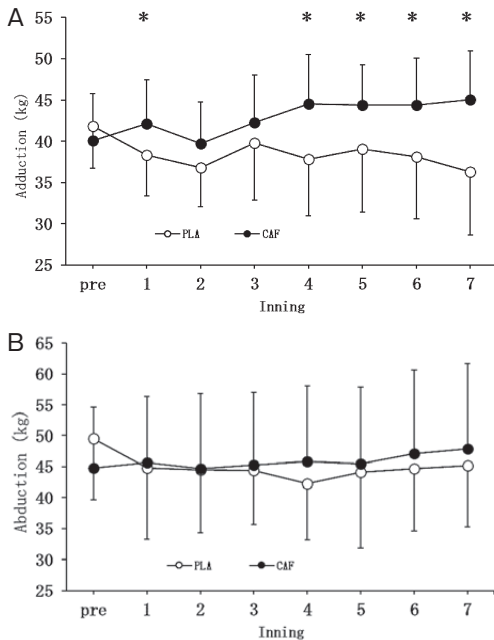


Figure 2. Changes in hip adduction strength (A) and hip abduction strength (B). The values are expressed as mean ± SD (n = 8). *: significantly different between the conditions (p < 0.05). CAF: caffeine, PLA: placebo.

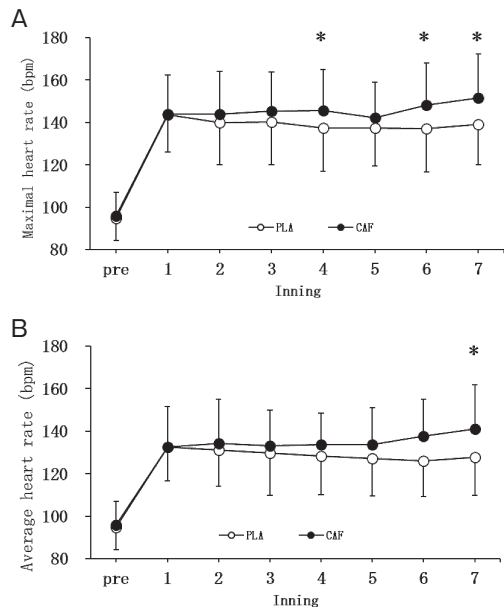


Figure 3. Changes in maximal heart rate (A) and average heart rate (B) every inning. The values are expressed as mean ± SD (n = 8). *: significantly different between the conditions (p < 0.05). CAF: caffeine, PLA: placebo.

Lであった。投球終了後ではカフェイン条件で $2.6 \pm 1.1\text{mmol/L}$ 、プラセボ条件で $1.6 \pm 0.4\text{mmol/L}$ であった。投球終了後ではカフェイン条件で高値を示したが、交互作用 ($p = 0.258$)、条件の主効果 ($p = 0.054$)、イニングの主効果 ($p = 0.354$) は認められなかった。

主観的指標

セッション RPE では交互作用 ($p = 0.135$) は認められなかったが、イニングの主効果 ($p < 0.001$)、条件の主効果 ($p = 0.004$) は認められた。

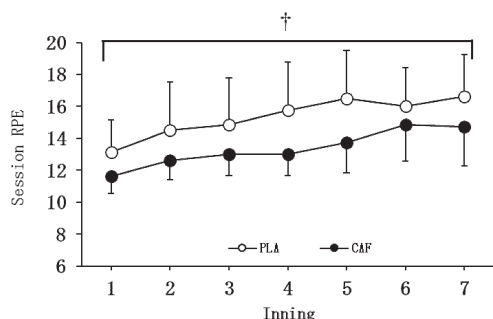


Figure 4. Changes in session rating of perceived exertion (RPE) every inning. The values are expressed as mean \pm SD ($n = 8$). †: indicates main effect of condition ($p < 0.05$). CAF: caffeine, PLA: placebo.

イニングを重ねるごとにセッション RPE の値は両条件で増加し、カフェイン条件の方がプラセボ条件と比較して低値を示した (Fig. 4)。

二次元気分尺度のうち、ポジティブ覚醒、快適度では交互作用 ($p = 0.005$, $p = 0.001$)、条件の主効果 ($p = 0.031$, $p = 0.027$)、イニングの主効果 (ポジティブ覚醒 $p < 0.001$, 快適度 $p < 0.001$) が認められた。また、ポジティブ覚醒、快適度ともに 4 回 ($p = 0.020$, $p = 0.048$)、5 回 ($p = 0.012$, $p = 0.010$)、6 回 ($p = 0.013$, $p = 0.026$)、7 回 ($p = 0.017$, $p = 0.006$) でカフェイン条件はプラセボ条件と比較して有意に高値を示した。ネガティブ覚醒と覚醒度では交互作用 ($p = 0.087$, $p = 0.751$)、条件の主効果 ($p = 0.146$, $p = 0.071$) は認められなかったが、イニングの主効果 ($p < 0.001$, $p < 0.001$) は認められた (Table.1)。

副作用の影響についてはプラセボ条件では「頻脈」「尿量の増加」「頭痛」「胃腸障害」「めまい」「吐き気」の全ての項目で 8 名の全被験者が 1 (ない、ほとんど感じなかった) と回答した。カフェイン条件で 1 名の被験者が「尿量の増加」の項目で 2 (少し感じた) と回答し、その他の項目では 1 と回答した。1 名を除く他 7 名の被験者は全項目で 1 と回答した。

Table 1. Two-dimensional mood scales. The values are expressed as mean \pm SD ($n = 8$).

*: significantly different between the conditions ($p < 0.05$). CAF: caffeine, PLA: placebo.

		W-up (pre)	W-up (post)	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	p Value		
											conditions	Inning	Interaction
Positive Arousal	CAF	2.9 \pm 4.6	5.3 \pm 3.8	5.6 \pm 4.4	5.1 \pm 4.5	5.0 \pm 4.0	5.0 \pm 4.6*	4.5 \pm 4.6*	4.3 \pm 4.3*	4.0 \pm 5.3*	0.031	<.001	0.05
	PLA	1.6 \pm 4.7	3.4 \pm 4.1	4.3 \pm 3.8	3.4 \pm 4.2	2.5 \pm 5.2	2.0 \pm 5.1	1.1 \pm 5.6	1.3 \pm 5.2	-0.9 \pm 6.4			
Negative Arousal	CAF	-6.8 \pm 1.9	-5.5 \pm 2.4	-4.6 \pm 3.8	-4.1 \pm 4.7	-4.6 \pm 3.6	-4.4 \pm 3.1	-4.5 \pm 3.2	-5.4 \pm 3.0	-5.1 \pm 2.4	0.146	<.001	0.087
	PLA	-7.5 \pm 1.6	-5.8 \pm 2.3	-4.1 \pm 3.7	-4.5 \pm 3.2	-3.8 \pm 3.1	-4.1 \pm 3.7	-3.0 \pm 3.7	-2.9 \pm 4.2	-3.4 \pm 3.5			
Pleasantness	CAF	4.8 \pm 2.9	5.4 \pm 2.5	5.1 \pm 3.1	4.6 \pm 3.8	4.8 \pm 3.1	4.7 \pm 3.4*	4.5 \pm 3.0*	4.8 \pm 3.0*	4.6 \pm 3.1*	0.027	<.001	0.01
	PLA	4.6 \pm 2.9	4.6 \pm 3.0	4.2 \pm 3.0	3.9 \pm 3.2	3.1 \pm 3.7	3.1 \pm 4.0	2.1 \pm 4.1	2.1 \pm 3.7	1.3 \pm 3.8			
Arousal	CAF	-1.9 \pm 2.0	-0.1 \pm 1.9	0.5 \pm 2.7	0.5 \pm 2.6	0.2 \pm 2.2	0.3 \pm 2.0	0.0 \pm 2.5	-0.6 \pm 2.1	-0.6 \pm 2.7	0.071	<.001	0.751
	PLA	-2.9 \pm 2.0	-1.2 \pm 1.4	0.1 \pm 2.3	-0.6 \pm 1.9	-0.6 \pm 2.1	-1.1 \pm 2.1	-0.9 \pm 2.3	-0.8 \pm 2.9	-2.1 \pm 3.5			

The values are expressed as mean \pm SD. *significantly different between the conditions ($p < 0.05$). CAF: caffeine, PLA : placebo.

考察

本研究の目的は、低用量のカフェイン摂取が大学生投手のピッチングパフォーマンスに与える影響を明らかにすることであった。カフェイン摂取によりピッチングパフォーマンス、特に後半イニングでの球速低下を抑制するという仮説を立てた。本研究では、3 mg/kg の低用量のカフェイン摂取により4回から7回の平均球速は、カフェイン条件の方がプラセボ条件よりも高い値を示した。プラセボ条件では1回と比較して7回に球速が有意に低下したが、カフェイン条件では有意な低下は認められず、イニングを重ねることによる球速の低下が抑制されることが示された。プラセボ条件で見られた球速の低下は4回を超えたあたりからであり、これはYanagisawaとTaniguchi (2018) の大学生投手を対象とした実験において投球スピードの低下が認められた結果と類似した結果であった。本研究の結果から、大学生投手に低用量 (3 mg/kg) のカフェインを摂取させることで、後半イニングにおけるストレートの球速の低下が抑制されることが示された。

投球テスト後半での球速低下が抑えられた要因はいくつか考えられる。1つ目は後半の股関節内転筋力が上昇したことである。本研究では、股関節内転筋力がプラセボ条件ではイニングを通してほとんど変化しなかったのに対し、カフェイン条件では後半イニングの値が上昇し、プラセボ条件と比較し有意に高値を示した。Aliら (2016) は1回15分間のトレッドミル走行を6回走行する運動中に膝関節屈曲筋力と膝関節伸展筋力を測定し、カフェイン条件でプラセボ条件と比較して両筋力の低下を抑制したことを報告している。ピッチャーの投球動作において、足が地面に着く際に身体を回転させていく前側の脚の股関節内転筋力は、球速の速い投手は遅い投手と比較して大きな値を示すことが報告されている (Kageyama et al., 2014)。また、股関節内転筋力の低下と球速の低下には有意な相関関係があることも報告されている (Yanagisawa and Taniguchi, 2018)。実際

に本研究では股関節内転筋力は4回から7回でカフェイン条件とプラセボ条件で有意な差があり、平均球速に有意な差があるタイミングと一致していた。

2つ目はカフェイン摂取により全イニングを通してセッションRPEがカフェイン条件でプラセボ条件と比較して低値を示したことである。このようなカフェイン摂取により運動中のRPEの増加を抑制し運動パフォーマンスに影響を与えた報告として、30秒間のウイングートテストを行った研究 (Dominguez et al., 2021) や最大酸素摂取量の70%の強度で30分間の一定負荷サイクリングを行った研究 (Killen et al., 2013) で、運動パフォーマンスを向上させている。本研究においては全力投球を指示しているにも関わらず、カフェイン条件ではプラセボ条件と比較し後半イニングにおいてRPEは有意に低値を示し (プラセボ条件: 4回 15.8 ± 3.0 , 5回 16.5 ± 3.0 , 6回 16 ± 2.4 , 7回 16.6 ± 2.6 ; カフェイン条件: 4回 13 ± 1.3 , 5回 13.7 ± 1.9 , 6回 14.9 ± 2.3 , 7回 14.7 ± 2.4)、運動パフォーマンスを低下させていない。また本研究では、最高心拍数や平均心拍数の結果からカフェイン条件は、プラセボ条件よりも高値を示しており被験者が全力で投球していたと判断できる。このRPEに影響を与えた要因として、カフェイン摂取が疲労感を軽減させたことが考えられる。ヒトの疲労感は大脳皮質にアデノシンが蓄積されることで中枢神経系の活動が低下することで引き起こされる (Pageaux et al., 2015)。このアデノシンによる疲労感は、カフェイン摂取により軽減させることができることが報告されており (Smith et al., 2005)、この疲労感の軽減がRPEの増加の抑制に働いた可能性がある。しかし、本研究では先行研究と同様にRPEが運動パフォーマンスに影響を与えたと考えられるが、具体的なメカニズムについては明らかにできておらず、今後も検討していく必要がある。

3つ目はカフェイン摂取により身体活動を行うのに最適な心理的状态が維持されたことである。本研究では、ポジティブ覚醒および快適度が後半

イニングの4回から7回でカフェイン条件がプラセボ条件と比較して良好であった。心理的な気分は運動パフォーマンスに影響を及ぼし、カフェインを摂取することによって気分が高揚し注意力や活力が高まることが知られている (Yeomans et al., 2002)。Jodra ら (2020) は 6 mg/kg のカフェインを摂取することで気分状態を改善し、30 秒間のウイングテストのパワーを向上させたことを報告している。また、心理的な快適性が増すことによって RPE を減少させたという報告もある (Backhouse et al., 2011)。今回認められた RPE の増加の抑制は気分が改善したことにも関連しているかもしれない。また、ポジティブ覚醒および快適度は 4 回、5 回、6 回、7 回でカフェイン条件とプラセボ条件で差が検出されており、これは平均球速に差が出始めたタイミングと一致していた。これらの点を踏まえると、ポジティブな気分および快適性がカフェイン摂取により高く保たれたことが後半での球速の低下を抑えた一つの要因である可能性がある。しかしながら、カフェイン摂取による心理的な気分と運動パフォーマンスの改善についての詳細なメカニズムについては今後の検討課題となった。

一般にカフェインを摂取すると不眠症、緊張、胃腸障害、吐き気、嘔吐、頻脈などの副作用が現れることが報告されている (Salinero et al., 2014)。しかし、本研究ではカフェイン摂取による副作用の影響はほとんど見られなかった。その理由として、カフェインの摂取が低用量 (3 mg/kg) と少なかったためであると考えられる。Pallares ら (2013) は様々な用量のカフェインを摂取させた場合、低用量 (3 mg/kg) よりも中用量 (6 mg/kg) で副作用の報告が多く、高用量 (9 mg/kg) では副作用が大幅に増加することを報告している。したがって、本研究で用いた低用量 (3 mg/kg) のカフェイン摂取は、副作用が現れる可能性が低く、野球のピッチングパフォーマンスにおいても他の競技と同様にエルゴジェニック効果が得られたため、実際の競技現場での応用が可能であることが示唆された。

本研究にはいくつかの限界点もある。1 つ目は、本研究では血中のカフェイン濃度を測定していないことである。一般に血中のカフェイン濃度は摂取 1 時間後にピークを迎え 3 ~ 4 時間はそれらの値が維持される (Lara et al., 2019)。そのため本研究では開始 1 時間前にカフェインを摂取したが、被験者間でカフェインの作用のばらつきがあったかどうかは不明である。2 つ目は、本研究ではカフェインを日常的に摂取していない、またはほとんど摂取していない被験者を対象としたことである。カフェインを日常的に摂取することによって、カフェインに対する反応が小さくなることが知られている。Wilk ら (2019b) は日常的にカフェインを摂取している被験者を対象に高用量 (9 mg/kg, 11 mg/kg) のカフェインを摂取させてもベンチプレステストにおける挙上回数が向上しなかったことを報告している。そのため、カフェインを日常的に摂取している被験者を対象とした場合においては今回のようなエルゴジェニック効果は認められない可能性もある。3 つ目は実験のプロトコルが実際の野球の試合を完全には再現できていないところである。本研究では、被験者に全球ストレートで全力投球するように指示した。しかし、実際の試合ではストレート以外の変化球も多く投球する。また、長いイニングを投球することが要求される投手は、全力で投球する場面と体力を温存する場面を使い分ける。さらに実際の試合では 1 イニングに投球する球数や投球間隔は一律ではない。そのため、実際の試合でカフェインを摂取した場合にどのようなエルゴジェニック効果が観察されるかについて今後さらなる研究が必要である。最後に、本実験は屋外において複数日にわたる実験であったため、測定日ごとに環境条件が異なる結果となった点である。暑熱環境下での運動は、過度な体温上昇や脱水の影響により運動パフォーマンスに影響を受けることが知られている (Hasegawa and Cheung, 2013)。しかし、本研究では暑熱や寒冷環境下ではなかったため、これらが本実験の結果に大きな影響を及ぼすとは考えにくい。

結論として、大学生投手に3 mg/kgの低用量のカフェインを摂取させた場合、主観的運動強度の軽減や股関節内転筋力の上昇、最適な心理状態やポジティブ感情の維持および快適性の改善によりストレートの平均球速が後半のイニングでも高い値を維持できていたことが示された。また、カフェイン摂取による副作用もほとんど見られなかった。したがって、低用量のカフェイン摂取は大学生投手にとって実用的かつ効果的な手段であるかもしれない。

引用文献

- Ali A, O'Donnell J, Foskett A, Rutherford-Markwick K. (2016) The influence of caffeine ingestion on strength and power performance in female team-sport players. *J Int Soc Sports Nutr* 13: 46.
- Anselme F, Collomp K, Mercier B, Ahmaïdi S, Prefaut C. (1992) Caffeine increases maximal anaerobic power and blood lactate concentration. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 65: 188-191.
- Astorino TA, Roberson DW. (2010) Efficacy of acute caffeine ingestion for short-term high-intensity exercise performance: a systematic review. *J Strength Cond Res* 24: 257-265.
- Backhouse SH, Biddle SJH, Bishop NC, Williams C. (2011) Caffeine ingestion, affect and perceived exertion during prolonged cycling. *Appetite* 57: 247-252.
- Borg GA. (1982) Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc*: 377-381.
- Davis JM, Zhao Z, Stock HS, Mehl KA, Buggy J, Hand GA. (2003) Central nervous system effects of caffeine and adenosine on fatigue. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 284: R399-R404.
- Diaz-Lara FJ, Del Coso J, García JM, Portillo LJ, Areces F, Abián-Vicén J. (2016) Caffeine improves muscular performance in elite Brazilian Jiu-jitsu athletes. *Eur J Sport Sci* 16: 1079-1086.
- Dominguez R, Veiga-Herrerros P, Sanchez-Oliver A, Montoya J, Ramos-Alvarez J, Miguel-Tobal F, Lago-Rodriguez A, Jodra P. (2021) Acute effects of caffeine intake on psychological responses and high-intensity exercise performance. *Int J Environ Res Public Health* 18: 584.
- Duncan M, Stanley M, Parkhouse N, Cook K, Smith M. (2013) Acute caffeine ingestion enhances strength performance and reduces perceived exertion and muscle pain perception during resistance exercise. *Eur J Sport Sci* 13: 392-399.
- Grgic J, Grgic I, Pickering C, Schoenfeld BJ, Bishop DJ, Pedisic Z. (2020) Wake up and smell the coffee: Caffeine supplementation and exercise performance—An umbrella review of 21 published meta-analyses. *J Sports Med* 54: 681-688.
- Hasegawa H, Cheung SS. (2013) Hyperthermia effects on brain function and exercise capacity. *J Phys Fitness Sports Med* 2 (4): 429-438.
- Hornery D, Farrow D, Mujika I, Young W. (2007) Caffeine, carbohydrate, and cooling use during prolonged simulated tennis. *Int J Sports Physiol Perform* 4: 423-438.
- Jodra P, Lago-Rodriguez A, Sanchez-Oliver AJ, Lopez-Samanes A, Perez-Lopez A, Veiga-Herrerros P, San Jan AF, Dominguez R. (2020) Effects of caffeine supplementation on physical performance and mood dimensions I elite and trained-recreational athletes. *J Int Sports Nutr* 17: 2.
- Kageyama M, Sugiyama T, Takai Y, Kanehisa H, Maeda A. (2014) Kinematic and kinetic profiles of trunk and lower limbs during baseball

- pitching in collegiate pitchers. *J Sports Sci Med* 13: 742-750.
- Killen LG, Green, JM, O'Neal EK, McIntosh JR, Hornsby J, Coates TE. (2013) Effects of caffeine on session ratings of perceived exertion. *Eur J Appl Physiol* 113: 721-727.
- Lago-Rodriguez A, Jodra P, Bailey S, Dominguez R. (2021) Caffeine improves performance but not duration of the countermovement jump phases. *J Sports Med* 61: 199-204.
- Lara B, Ruiz-Moreno C, Salinero JJ, Del Coso J. (2019) Time course of tolerance to the performance benefits of caffeine. *PLoS ONE* 14, e0210275.
- Mclellan TM, Caldwell JA, Lieberman HR. (2016) A review of caffeine's effects on cognitive, physical and occupational performance. *Neurosci Biobehav Rev* 71: 294-312.
- Munoz A, Lopez-Samanes A, Anguilar-Navarro M, Varillas-Delgado D, Rivilla-Garcia J, Moreno-Perez V, Coso J. (2020) Effects of CYP1A2 and ADORA2A genotypes on the ergogenic responses to caffeine in professional handball players. *Genes* 11: 933.
- Murray TA, Cook TD, Werner SL, Schlegel TF, Hawkins RJ. (2001) The effects of extended play on professional baseball pitchers. *Am J Sports Med* 29: 137-142.
- Pageaux B, Marcora, S.M, Rozand V, Lepers R. (2015) Mental fatigue induced by prolonged self-regulation does not exacerbate central fatigue during subsequent whole-body endurance exercise. *Front Hum Neurosci* 9: 67.
- Pallares J, Fernandez-Elias V, Ortega J, Munoz G, Munoz-Guerra J, Mora-Rodriguez R. (2013) Neuromuscular responses to incremental caffeine dose: performance and side effects. *Med Sci Sports Exerc* 45: 2184-2192.
- Puente C, Abian-Vicen J, Salinero J, Lara B, Areces F, Coso J. (2017) Caffeine improves basketball performance in experienced basketball players. *Nutrients* 9: 1033.
- 坂入 洋右, 徳田 英次, 川原 正人. (2003) 心理的覚醒度・快適度を測定する二次元気分尺度の開発. 筑波大学体育科学系紀要 26, 27-36.
- Salinero JJ, Lara B, Abian-Vicen J, Gonzalez-Millán C, Areces F, Gallo-Salazar C, Ruiz-Vicente D, Del Coso J. (2014) The use of energy drinks in sport: Perceived ergogenicity and side effects in male and female athletes. *Br J Nutr* 112: 1494-1502.
- Schneiker KT, Bishop D, Dawson B, Hackett LP. (2006) Effects of caffeine on prolonged intermittent-sprint ability in team-sport athletes. *Med Sci Sports Exerc* 38: 578-585.
- Smith A, Sutherland D, Christopher G. (2005) Effects of repeated doses of caffeine on mood and performance of alert and fatigued volunteers. *J Psychopharmacol* 19: 620-626.
- Spriet LL. (2014) Exercise and sport performance with low doses of caffeine. *Sport Med* 44: 175-184.
- Talanian JL, Spriet L. (2016) Low and moderate doses of caffeine late in exercise improve performance in trained cyclists. *Appl Physiol Nutr Metab* 41: 850-855.
- Wang C, Zhu Y, Dong C, Zhou Z, Zheng X. (2020) Effects of various doses of caffeine ingestion on intermittent exercise performance and cognition. *Brain Sci* 10: 595.
- Wilk M, Krzysztofik M, Filip A, Zajac A, Coso J. (2019a) The effects of high doses of caffeine on maximal strength and muscular endurance in athletes habituated to caffeine. *Nutrients* 11: 1912.
- Wilk M, Krzysztofik M, Maszczyk A, Chycki J, Zajac A. (2019b) The acute effects of caffeine intake on time under tension and power generated during the bench press movement.

- J Int Soc Sports Nutr* 16: 8.
- Yanagisawa O, Taniguchi H. (2018) Changes in lower extremity function and pitching performance with increasing numbers of pitches in baseball pitchers. *J Exerc Rehabil* 14: 430-435.
- Yeomans MR, Ripley T, Davies LH, Rusted JM, Rogers PJ. (2002) Effects of caffeine on performance and mood depend on the level of caffeine abstinence. *Psychopharmacology* 164: 241-249.
- Zheng X, Takatsu S, Wang H, Hasegawa H. (2014) Acute intraperitoneal injection of caffeine improves endurance exercise performance in association with increasing brain dopamine release during exercise. *Pharmacol Biochem Behav* 122: 136-143.