

原 著

2 週間の高濃度茶カテキン含有飲料継続摂取が 3,000 mタイムトライアル評価値に及ぼす影響

山上 隼平^{*1}、宮下 政司^{*2}、城所 哲宏^{*3}、柳岡 拓磨^{*4,*5}、柏原 杏子^{*4}、和氣坂 卓也^{*6}、
松井 祐司^{*6}、竹下 尚男^{*6}、大崎 紀子^{*6}、桂木 能久^{*6}

^{*1} 東京学芸大学大学院教育学研究科、^{*2} 早稲田大学スポーツ科学学術院、

^{*3} 東京学芸大学大学院連合学校教育学研究科、^{*4} 早稲田大学大学院スポーツ科学研究科、^{*5} 日本学術振興会、

^{*6} 花王株式会社ヘルスケア食品研究所

【目的】

高濃度茶カテキン含有（tea catechin-rich beverage、以下TCRとする）飲料の継続摂取が全身持久力、血中脂質代謝関連項目及び造血因子に及ぼす影響を検討することを目的とした。

【方法】

男子陸上中・長距離競技者15名を対象に無作為化二重盲検交差試験法を用いて、全身持久力、エリスロポエチン及び血清鉄を評価した。全ての対象者は試験飲料摂取開始前に、ミネラルウォーター 500mLを摂取し3,000 mタイムトライアルを実施した。その後、TCR飲料（総カテキン634mg/500mL）または対照飲料（総カテキン 0 mg/500mL）のいずれかを1日1本2週間継続摂取し、最終日に2回目の3,000 mタイムトライアルを試験飲料摂取後に実施した。その後、2週間のウォッシュアウト期間を経た後、飲料を替えて上記と同様の試験を実施した。

【結果】

飲料の継続摂取後のTCR飲料試行において、対照飲料試行と比べ3,000 mタイムトライアルのタイムが有意に速い値を示した（飲料の主効果 $p < 0.05$ ）。血清鉄及びエリスロポエチンにおいて、TCR飲料試行で対照飲料試行と比べ有意な増加を示した（飲料の主効果 $p < 0.01$ ）。血中脂質代謝関連項目において飲料間に有意な差は見られなかった。

【結論】

本研究において、2週間のTCR飲料の継続摂取は、対照飲料と比較し、陸上中・長距離競技者における酸素運搬能力を高め、短時間高強度の運動時の全身持久力に差をもたらす可能性が示唆された。

キーワード：茶カテキン 全身持久力 高強度運動

I 緒言

全身持久力を左右する生理的因子の一つとして、運動時のエネルギー代謝が挙げられる。体内に蓄積されている糖質の枯渇が長時間の運動時の疲労発現や全身持久力の低下に関連している¹⁾。そのため、長時間の運動中は糖質の利用を節約し、脂肪からのエネルギー供給に依存することで全身持久力が向上すると考えられている¹⁾。その他の全身持久力を左右する生理的因子の一つとして酸素運搬能力が挙げられる。アスリートにおいて、運動習慣のない健常者と比べ、酸素を全身に運搬するヘモグロビン量が多いこと、最大酸素摂

取量が高値を示すことが報告されており、酸素運搬能力は持久力を高めるために必要なものと考えられている²⁾。

茶カテキンの脂肪代謝亢進効果に関しては、国内外で研究が進められており、動物試験・ヒト試験ともカテキンの継続摂取により、安静時及び運動時の脂肪代謝が亢進すると報告されている^{3)~5)}。これらをもとに、茶カテキンの全身持久力向上効果は、脂肪代謝亢進による要因と仮定し検討されている。実際に動物試験では茶カテキンの摂取により運動時の脂肪代謝が亢進し全身持久力の向上に寄与する可能性が示唆されて

いる^{4),6)~10)}。同様にヒト試験においても、茶カテキンの摂取により自転車漕ぎ運動時の脂肪酸化が亢進し、全身持久力の向上に寄与したと報告されている¹¹⁾。一方、市販ペットボトル飲料の濃度（茶カテキン濃度は約0.2-0.3mg/mL）では代謝改善効果（抗肥満効果）は認められていない¹²⁾ことが報告されている。また、我々が知る限り5つあるヒトを対象とした茶カテキン摂取による全身持久力の向上に関する先行研究で^{11),13)~16)}1日の総茶カテキン摂取量が500mg未満の場合は全身持久力が向上せず^{14),15)}、1日の茶カテキン摂取量が500mg以上である場合に全身持久力が向上したという報告がある^{11),13),16)}。さらに、茶カテキン摂取による体脂肪の低減効果に関する先行研究においても、1日あたり500~600mgの総茶カテキン摂取が最も効果的であると報告されている¹⁷⁾。

茶カテキン摂取による持久力の向上効果を検討した研究では、その多くが1~2時間の中強度運動時の脂肪代謝を評価した後に運動パフォーマンステストを実施する形式を用いており¹⁸⁾、実際の陸上3,000 m競技に近づけた短時間高強度運動時の脂肪代謝、運動パフォーマンス及び酸素運搬系への影響を検討した報告はない。一方で、茶カテキン摂取により10分程度の漸増運動負荷試験で心拍出量の変化なしに最大酸素摂取量が上昇すると報告されており¹⁹⁾、茶カテキン摂取による全身持久力の向上効果は脂肪代謝亢進だけでなく酸素運搬能力の向上による要因も考えられる¹⁹⁾。そこで本研究では、茶カテキンの摂取により短時間高強度運動時の脂肪代謝亢進及び造血促進による酸素運搬能

の向上によって全身持久力向上に寄与すると仮説を立てた。

従って、本研究では、男子陸上中・長距離競技者を対象に、高濃度（茶カテキン濃度として市販ペットボトル飲料（茶カテキン濃度は約0.2-0.3mg/mL）^{20),21)}の5~6倍）茶カテキン含有飲料（tea catechin-rich beverage、以下TCR飲料とする）の継続摂取が短時間高強度運動である3,000 m走から評価する全身持久力、血中脂質代謝関連項目及び造血因子に及ぼす影響を検討することを目的とした。

Ⅱ 方法

1. 試験対象者

本研究は成人男子陸上中・長距離競技者15名を対象とした。本研究は対象者のトレーニング期間である2014年11月から12月下旬に実施した。対象者はいずれも非喫煙者であり、年齢 21.0 ± 0.4 歳、身長 1.71 ± 0.01 m、体重 58.4 ± 1.1 kg、体格指数 20.0 ± 0.3 kg/m²（平均値±標準誤差）であった。対象者にはあらかじめ、研究の目的、方法、実験に伴う苦痛及び危険性について十分な説明を行い、書面にて参加に対する同意を得た。なお、本研究は東京学芸大学研究倫理委員会の承認を得て行われた（承認番号：123）。

2. 研究デザイン

本研究は無作為化二重盲検プラセボ対照試験法を用いて行われた。研究プロトコルを図1に示した。対象

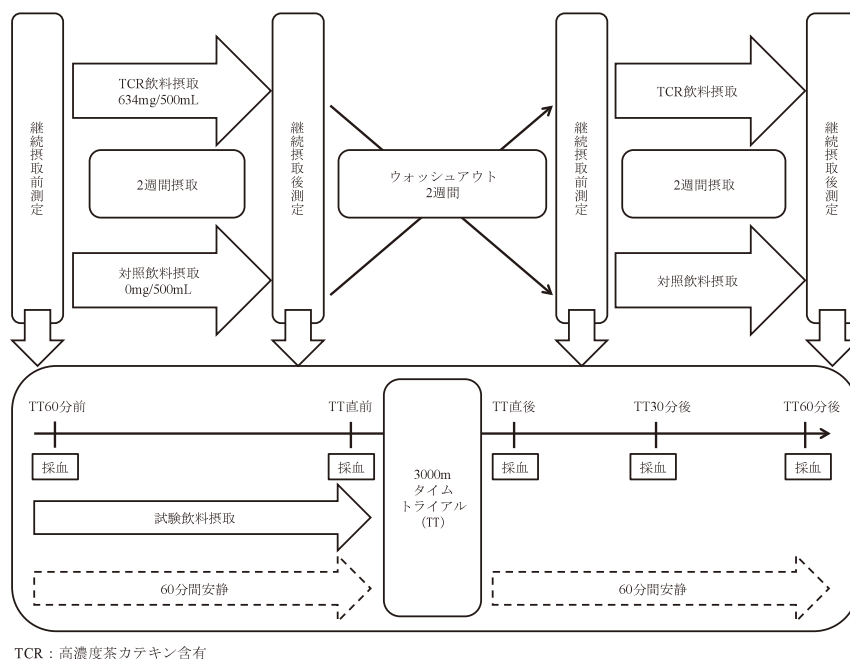


図1 研究プロトコル

者はミネラルウォーター 500mLを全身持久力測定の前1時間前から4回に分け15分毎に摂取後、1回目の全身持久力測定を実施した。その後、TCR飲料先行摂取試行または対照飲料先行摂取試行に無作為に割付られ、割付られた飲料を先行研究¹³⁾と同様に2週間1日1本継続摂取した後に2回目の全身持久力測定を実施した。その後、2週間のウォッシュアウト期間を経た後、飲料を替えて上記と同様の内容を実施した。先行研究^{13),19)}と同様、対象者の身体面及び心理面への配慮を考慮し、ウォッシュアウト期間を2週間とした。また、TCR飲料の単回摂取後の血中カテキン量は24時間前後で初期値に戻る^{12),22)}ことから、2週間のウォッシュアウト期間後における継続摂取による血中カテキンの残存は考えにくいと仮定した。さらに、本研究のデザインは、TCR飲料継続摂取による全身持久力向上効果の可能性を示唆している先行研究¹³⁾のデザインをもとに設定した。

3. 試験飲料

試験飲料として茶カテキンを含有するTCR飲料（茶カテキン634mg/500mL）、プラセボとして茶カテキンを含有しない対照飲料（0 mg/500mL）を用いた。それぞれの飲料組成を表1に示した。両飲料はいずれも20kcal/500mLの熱量であり、外見や風味から区別がつかないように調整された。2週間の継続摂取中の飲用タイミングは運動トレーニング時とし、休息日の際は通学時等でできるだけ身体活動の多い時とした。

表1 試験飲料組成

	TCR 飲料	対照飲料
	(mg/500mL)	
総カテキン	634.0	0
ガロカテキン	56.5	0
エピガロカテキン	224.0	0
カテキン	17.0	0
エピカテキン	60.0	0
エピガロカテキンガレート	201.5	0
ガロカテキンガレート	12.0	0
エピカテキンガレート	57.0	0
カテキンガレート	6.0	0
カフェイン	15.0	15.0
	(g/500mL)	
タンパク質	0	0
脂肪	0	0
炭水化物	8.5	8.5
	(kcal/500mL)	
エネルギー	20	20

TCR：高濃度茶カテキン含有

4. 本試験

対象者は、試験期間中の緑茶飲料の摂取を控えた。また事前にコーヒー等カフェインを多量に含む飲食物の摂取を控えるよう指示し、1日あたり200mg以上のカフェインの摂取を控えた。4回の全身持久力測定の前日及び当日には、激しい運動やカフェインの過度の摂取、飲酒を控え、前日の食事、その他間食及び飲料の摂取内容は4回の測定で同一になるようにした。また、当日の朝は、起床して試験が終了するまで、試験飲料及び水以外の飲食を控えた。

全身持久力測定には3,000 mタイムトライアル（3,000 m Time Trial、以下3,000 mTTとする）を用い、スタートからゴールラインを通過するまでに経過した時間を記録した。全身持久力測定の前日、対象者は3,000 mTT開始60分前に集合し、試験飲料500mLを4回に分けて15分毎に摂取した。飲料摂取終了後、東京学芸大学陸上競技場にて15分間のウォーミングアップ後に3,000 mTTを実施し、その後60分間の安静状態を維持した。心拍数は、心拍計（RCX 3、Polar社製）を用い、3,000 mTT開始直前から終了まで測定した。

5. 血液指標

血液指標は、血中の中性脂肪、遊離脂肪酸、グルコース、アドレナリン、ノルアドレナリン、血清鉄、フェリチン及びエリスロポエチンとした。3,000 mTT開始60分前（試験飲料摂取前）、3,000 mTT開始直前、3,000 mTT終了直後、終了30分後及び60分後の計5回、肘上腕より静脈血を採取した。なお、血清鉄及びフェリチンは日内変動が大きいため、3,000 mTT開始60分前のみ測定した。採取した血液は3,000 rpmで10分間4℃にて遠心分離し、分離した血清及び血漿を用いて、血清中性脂肪、血清遊離脂肪酸、血漿グルコースは酵素法（データミナー C-TG；協和メデックス株式会社製、NEFA-HR II；和光純薬工業株式会社製、Lタイプワコー Glu 2；和光純薬工業株式会社製）にて、血漿アドレナリン、血漿ノルアドレナリンは高速液体クロマトグラフィー法にて（A液、B液、C液、D液、E液、東ソー株式会社製）、血清鉄は比色法にて（クイックオートネオFe、株式会社シノテスト製）、血清フェリチンは化学発光免疫測定法にて（シーメンスヘルスケア・ダイアグノスティクス（株））、血漿エリスロポエチンは酵素免疫法にて（アクセスEPO, Beckman Coulter社製）を用いて測定した。

6. データ分析

全ての値は、平均値±標準誤差で示した。統計解析にはPredictive Analytics Software（PASW）Ver.18.0 Windows用（IBM Japan株式会社製）を用い、有意水準は5%未満とした。各飲料継続摂取前後での試行間比較には、線形混合モデル分析（3,000 mTT、血清鉄

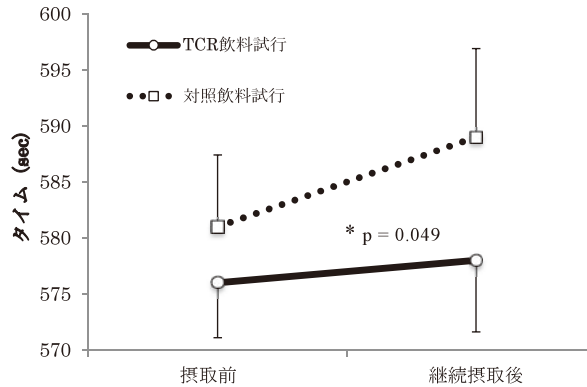


図2 高濃度茶カテキン含有飲料 (TCR飲料) 及び対照飲料摂取前後における3,000 mタイムトライアル (3,000 mTT) の結果

n = 15、平均値 ± 標準誤差

飲料の主効果: * p = 0.049 (TCR 飲料試行 < 対照飲料試行)、継続摂取の主効果: p = 0.162、交互作用: p = 0.418

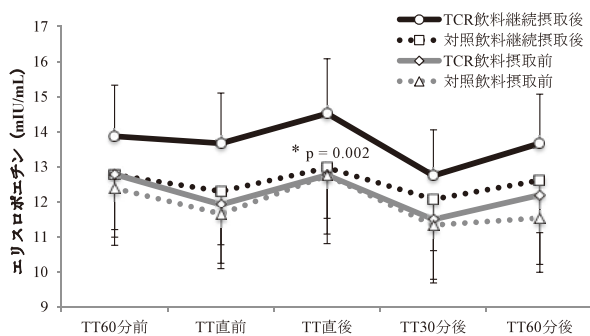


図4: 高濃度茶カテキン含有飲料 (TCR飲料) 及び対照飲料試行における3,000 mタイムトライアル (3,000 mTT) 前後の血中エリスロポエチン濃度

n = 15、平均値 ± 標準誤差

飲料の主効果: * p = 0.002、継続摂取の主効果: p < 0.01、時間の主効果: p = 0.047、飲料 × 摂取: p = 0.077、飲料 × 時間: p = 0.995、摂取 × 時間: p = 0.982、飲料 × 摂取 × 時間: p = 0.984

及びフェリチン; 飲料・摂取・交互作用、その他の項目; 飲料・摂取・時間・交互作用) を用いた。各項目間の相関係数はPearsonの相関分析を用いて算出した。

Ⅲ 結果

1. 3,000 mTT

3,000 mTTの結果を図2に示した。飲料の主効果に有意な差が認められ、継続摂取後のTCR飲料試行の3,000 mTTの結果において対照飲料試行と比較し、速

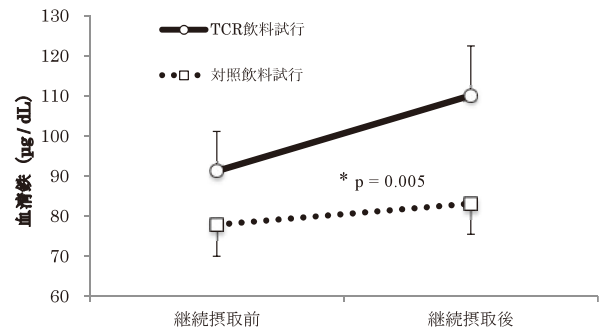


図3 高濃度茶カテキン含有飲料 (TCR飲料) 及び対照飲料摂取前後における血中血清鉄濃度

n = 15、平均値 ± 標準誤差

飲料の主効果: * p = 0.005、時間の主効果: p = 0.072、交互作用: p = 0.305

い値を示した (飲料の主効果: p = 0.049)。継続摂取の主効果及び交互作用は認められなかった。

2. 血液項目

中性脂肪、遊離脂肪酸、グルコース、アドレナリン、ノルアドレナリン及びフェリチンの結果を表2に示した。全ての項目において (単回の血液採取のためフェリチンを除く)、本試験時の経時変化による時間の主効果が認められた (時間の主効果: p < 0.0005)。中性脂肪のみ、継続摂取の主効果が認められた (p = 0.011) が、その他全ての項目において、飲料の主効果、継続摂取の主効果及び交互作用は認められなかった。

血清鉄の結果を図3に示した。継続摂取の主効果及び交互作用は認められなかったが飲料の主効果が認められ、TCR飲料試行において対照飲料試行と比較し有意に高い値を示した (飲料の主効果: p = 0.005)。

エリスロポエチンの結果を図4に示した。エリスロポエチンについて、交互作用は認められなかったが、飲料の主効果、継続摂取の主効果が認められ、TCR飲料試行において対照飲料試行と比較し有意な増加を示した (飲料の主効果: p = 0.002、継続摂取の主効果: p < 0.01)。また、3,000 mTT30分後、60分後のエリスロポエチン値が上昇した者程、3,000 mTTの結果において速い値を示した (r = -0.56、-0.52それぞれ p < 0.05)。

表2 高濃度茶カテキン含有飲料（TCR飲料）及び対照飲料摂取前後における3,000 mタイムトライアル（3,000 mTT）前後の血中中性脂肪、遊離脂肪酸、グルコース、アドレナリン及びノルアドレナリン濃度

			TT60分前	TT直前	TT直後	TT30分後	TT60分後
中性脂肪 (mg/dL)	TCR 飲料	摂取前	81 ± 10	79 ± 10	68 ± 10	60 ± 8	59 ± 7
		摂取後	81 ± 17	70 ± 8	56 ± 6	49 ± 3	47 ± 2
	対照飲料	摂取前	84 ± 11	77 ± 8	70 ± 6	62 ± 5	61 ± 5
		摂取後	74 ± 6	73 ± 5	62 ± 5	58 ± 5	58 ± 5
遊離脂肪酸 (mEq/L)	TCR 飲料	摂取前	0.63 ± 0.06	0.49 ± 0.05	0.63 ± 0.06	0.27 ± 0.03	0.35 ± 0.05
		摂取後	0.65 ± 0.08	0.49 ± 0.04	0.55 ± 0.04	0.23 ± 0.03	0.35 ± 0.06
	対照飲料	摂取前	0.48 ± 0.05	0.51 ± 0.06	0.52 ± 0.05	0.26 ± 0.03	0.40 ± 0.08
		摂取後	0.52 ± 0.05	0.46 ± 0.05	0.55 ± 0.05	0.24 ± 0.02	0.41 ± 0.05
グルコース (mg/dL)	TCR 飲料	摂取前	88 ± 2	84 ± 2	162 ± 6	98 ± 7	73 ± 3
		摂取後	86 ± 1	82 ± 1	163 ± 5	94 ± 7	72 ± 2
	対照飲料	摂取前	89 ± 2	86 ± 2	164 ± 5	101 ± 6	79 ± 3
		摂取後	86 ± 1	86 ± 2	161 ± 6	98 ± 7	76 ± 4
アドレナリン (pg/mL)	TCR 飲料	摂取前	49 ± 14	41 ± 5	163 ± 19	60 ± 7	45 ± 4
		摂取後	37 ± 4	41 ± 5	154 ± 21	56 ± 5	48 ± 5
	対照飲料	摂取前	43 ± 4	44 ± 6	149 ± 22	53 ± 6	51 ± 4
		摂取後	44 ± 6	53 ± 6	191 ± 34	62 ± 6	50 ± 3
ノルアドレナリン (pg/mL)	TCR 飲料	摂取前	349 ± 29	333 ± 39	2208 ± 281	431 ± 30	383 ± 30
		摂取後	392 ± 38	403 ± 43	2143 ± 214	491 ± 49	442 ± 44
	対照飲料	摂取前	371 ± 30	345 ± 35	1999 ± 246	448 ± 33	370 ± 26
		摂取後	428 ± 49	420 ± 47	2221 ± 262	514 ± 43	442 ± 36
フェリチン (ng/mL)	TCR 飲料	摂取前	33.3 ± 5.5				
		摂取後	31.9 ± 5.8				
	対照飲料	摂取前	35.3 ± 7.0				
		摂取後	31.9 ± 5.6				

n = 15, 平均値 ± 標準誤差

中性脂肪：飲料の主効果：p = 0.415、継続摂取の主効果：p = 0.011、時間の主効果：p < 0.0005、飲料 × 摂取：p = 0.605、飲料 × 時間：p = 0.897、摂取 × 時間：p = 0.993、飲料 × 摂取 × 時間：p = 0.872

遊離脂肪酸：飲料の主効果：p = 0.227、継続摂取の主効果：p = 0.561、時間の主効果：p < 0.0005、飲料 × 摂取：p = 0.459、飲料 × 時間：p = 0.053、摂取 × 時間：p = 0.846、飲料 × 摂取 × 時間：p = 0.939

グルコース：飲料の主効果：p = 0.104、継続摂取の主効果：p = 0.268、時間の主効果：p < 0.0005、飲料 × 摂取：p = 0.824、飲料 × 時間：p = 0.875、摂取 × 時間：p = 0.983、飲料 × 摂取 × 時間：p = 0.985

アドレナリン：飲料の主効果：p = 0.354、継続摂取の主効果：p = 0.459、時間の主効果：p < 0.0005、飲料 × 摂取：p = 0.105、飲料 × 時間：p = 0.937、摂取 × 時間：p = 0.747、飲料 × 摂取 × 時間：p = 0.516

ノルアドレナリン：飲料の主効果：p = 0.953、継続摂取の主効果：p = 0.171、時間の主効果：p < 0.0005、飲料 × 摂取：p = 0.498、飲料 × 時間：p = 0.974、摂取 × 時間：p = 1.000、飲料 × 摂取 × 時間：p = 0.855

フェリチン：飲料の主効果：p = 0.448、継続摂取の主効果：p = 0.230、飲料 × 摂取：p = 0.592

3. 心拍数

3,000 mTT時の最大心拍数及び平均心拍数を表3に示した。なお、測定時に心拍数を計測できなかった者が4名いたため、解析から除外した。最大心拍数について飲料の主効果が認められ、TCR飲料試行におい

て対照飲料試行と比較し有意に低い最大心拍数を示した（飲料の主効果：p = 0.030）。平均心拍数について、交互作用が認められ、有意な減少を示した（交互作用：p = 0.004）。

表3 高濃度茶カテキン含有飲料 (TCR飲料) 及び対照飲料摂取前後における3,000 mタイムトライアル (3,000 mTT) の時の最大心拍数及び平均心拍数

	TCR 飲料試行		対照飲料試行	
	継続摂取前	継続摂取後	継続摂取前	継続摂取後
最大心拍数 * (bpm)	190 ± 1	186 ± 2	190 ± 3	190 ± 2
平均心拍数 * (bpm)	182 ± 1	177 ± 2	181 ± 2	182 ± 2

n = 11、平均値 ± 標準誤差

* p < 0.05

最大心拍数：飲料の主効果：p = 0.030 (TCR 飲料試行 < 対照飲料試行)、時間の主効果：p = 0.085、交互作用：p = 0.115

平均心拍数：飲料の主効果：p = 0.024 (TCR 飲料試行 < 対照飲料試行)、時間の主効果：p = 0.087、交互作用：p = 0.004

IV 考察

我々はこれまでに、2週間のTCR飲料継続摂取による間欠性の運動パフォーマンステストにおいて全身持久力を向上させ、その向上効果は全身持久力がより高い者において大きいことを報告している¹³⁾。本研究では、全身持久力が比較的高い陸上中・長距離競技者を対象に10分程度で実施する連続性の短時間・高強度運動パフォーマンステストを用い、TCR飲料継続摂取による脂肪・糖代謝、造血及び全身持久力への影響を検討した。本研究の結果、継続摂取後のTCR飲料試行において対照飲料試行と比較し3,000 mTTの結果が有意に速い値を示し、10分程度の連続性の短時間・高強度運動であってもTCR飲料継続摂取により全身持久力に差をもたらす可能性を示した。また、造血関連項目のエリスロポエチン及び血清鉄がTCR飲料試行において対照飲料試行と比較し、血中濃度の有意な増加を示した。しかし、血中脂質代謝関連項目では変化が見られなかった。

茶カテキンの持久力向上効果を報告した先行研究^{11),13)~16)}では、長時間・中強度運動前における茶カテキン摂取が脂肪代謝亢進に影響を及ぼすと考察されているが、本研究にて実施した短時間・高強度運動における茶カテキン摂取では血中脂質代謝関連項目へ影響を及ぼさなかったため、脂肪代謝亢進とは異なるメカニズムにより全身持久力へ影響を及ぼすと考えられる。3,000 mTT結果が対照飲料試行と比較し、TCR飲料試行において有意に速い値を示した理由として、血中のエリスロポエチン及び血清鉄濃度の上昇による赤血球の生成促進が考えられる。血中ヘモグロビン濃度と最大酸素摂取量には正の相関があることが知られており、全身持久力を向上させる要因の一つとして考えられている²³⁾。Manaloらは動物試験において7日間

のエCG投与 (60mg/kg体重) が、エリスロポエチン放出を安定させる低酸素誘導因子-1 α (Hypoxia inducible factor-1 α 、以下HIF-1 α) 発現に及ぼす影響を検討し、低酸素環境及び通常酸素環境の両環境でプロリル4ヒドロキシラーゼドメイン2蛋白の活性を抑制することでHIF-1 α 発現を安定させることを報告している²⁴⁾。エリスロポエチンをマウスの脾臓に注射後24時間には前赤芽球、72時間後には網赤血球の増加を認めると報告されている²⁵⁾。また、Richardらはヒト試験においてEGCG摂取が最大酸素摂取量に及ぼす影響を検討し、EGCG摂取は心拍出力の上昇なしに最大酸素摂取量を上昇させることを報告している¹⁹⁾。アスリートは一般人と比較し網赤血球数が多いことから、赤血球の代謝が促進していることが報告されており、間接的にトレーニングが造血を促進していることが示唆されている²⁶⁾。運動によるエリスロポエチン放出刺激について明らかとなっていないが、考えられる作用機序として腎臓への血流減少が挙げられる。運動時の血流量減少によりエリスロポエチン放出が刺激されると考えられており、レジスタンストレーニングよりも持久性トレーニングで高い効果が得られると報告されている²⁶⁾。従って本研究において、先行研究²⁶⁾と同様にエリスロポエチン上昇による赤血球生成促進が起こり、酸素運搬能力の向上を介し3,000 mTTの試行間差に寄与した可能性が考えられる。

茶カテキンは鉄吸収を抑制する栄養素としての報告がある²⁷⁾。一方、茶カテキン摂取2時間後には鉄吸収の抑制は弱まると報告されている^{27),28)}。本研究では継続摂取期間中の試験飲料の摂取タイミングを食事中ではなく運動時と指定したため、茶カテキン摂取による鉄吸収の抑制は起きなかった可能性が考えられる。また、EGCGはHIF-1 α 発現安定化を起こすだけではなく過剰に酸化されたフェリル鉄 (Fe⁴⁺) を3価鉄

(Fe^{3+}) に還元することができるとされている²⁴⁾。そのため本研究では、TCR飲料の継続摂取により体内のフェリル鉄 (Fe^{4+}) が3価鉄 (Fe^{3+}) に還元され血清鉄が上昇した可能性が考えられる。血清鉄は赤血球生成後期に赤芽球が赤血球へ成熟する過程を促進させると報告されている²⁹⁾。本研究においてエリスロポエチン上昇による赤血球生成促進だけでなく血清鉄増加による赤血球成熟促進が起これ、酸素運搬能力の向上に寄与した可能性が考えられる。また、期間中の食事内容を統一した状態で血清鉄が有意に増加したことから飲料の摂取タイミングや運動との組み合わせにより茶カテキンの摂取は鉄代謝を改善する可能性があることが考えられる。これはアスリート、特に鉄欠乏性貧血が多い女性アスリートにおいて²⁶⁾、鉄代謝改善によるコンディショニングサポートに有用となる可能性を示唆している。

本研究では、茶カテキン摂取による全身持久力測定時の血中脂質代謝関連項目において変化が見られなかった。変化が見られなかった要因として、本研究で実施した運動形式が考えられる。運動時の脂肪代謝は中強度運動時が最も高く、高強度運動においても脂肪代謝は安静時よりも亢進するが、中強度運動時と比べ遊離脂肪酸、中性脂肪が低下することが知られている¹⁾。しかし、本研究では平均心拍数が180拍/分程度と高強度運動かつ運動時間が10分程度の短時間であったため、脂肪代謝の亢進が起きなかった可能性が考えられる。

本研究の結果は陸上中・長距離競技者を対象とした結果であり、アスリートの全身持久力の向上に有益であると考えられる。また、高濃度茶カテキンの継続摂取と習慣的なトレーニングの併用は全身持久力を向上させるという報告を支持する結果となったが^{11),13)}、高濃度茶カテキンの継続摂取による全身持久力の向上のメカニズムは明らかとなっていない。さらに、本研究で初めてTCR飲料の継続摂取により造血因子であるエリスロポエチンや血清鉄を増加させる可能性を示唆したが、その作用機序も明らかとなっていないため、今後高濃度茶カテキン摂取による全身持久力に関する作用機序についてさらなる検証が必要である。

V 結論

2 週間のTCR飲料の継続摂取は、対照飲料と比較し、陸上中・長距離競技者における酸素運搬能力を高め、短時間高強度の運動時の全身持久力に差をもたらす可能性が示唆された。

謝辞

本研究は花王株式会社より研究費助成の補助を受け実施した(研究代表者 宮下政司)。本研究で使用した飲料について、花王株式会社より提供を受けた。また、データ分析について、花王株式会社の全ての共同研究者が関わっていないことを申告する。

利益相反

花王株式会社から東京学芸大学への共同研究費の提供(研究代表者: 宮下政司(東京学芸大学、現: 早稲田大学))

文 献

- 1) Horowitz, J.F., Klein, S.: Lipid metabolism during endurance exercise, *Am. J. Clin. Nutr.*, 72, 558S-563S (2000)
- 2) 長谷川博.: エンデュランストレーニングの科学 持久力向上のための理論と実践, (2015), NAP, 東京都
- 3) Murase, T., Nagasawa, A., Suzuki, J., et al.: Beneficial effects of tea catechins on diet- induced obesity : stimulation of lipid catabolism in the liver, *Int. J. Obes.*, 26, 1459-1464 (2002)
- 4) Murase, T., Haramizu, S., Shimotoyodome, A., et al.: Green tea extract improves running endurance in mice by stimulating lipid utilization during exercise, *Am. J. Physiol. Regul. Comp. Physiol.*, 290, R1550-R1556 (2006)
- 5) Ichinose, T., Nomura, S., Someya, Y., et al.: Effect of endurance training supplemented with green tea extract on substrate metabolism during exercise in humans, *Scand. J. Med. Sci. Sports.*, 21, 598-605 (2011)
- 6) Murase, T., Haramizu, S., Shimotoyodome, A., et al.: Green tea extract improves endurance capacity and increases muscle lipid oxidation in mice, *Am. J. Physiol. Integr. Comp. Physiol.*, 288, R708-R715 (2005)
- 7) Haramizu, S., Ota, N., Hase, T., et al.: Catechins suppress muscle inflammation and hasten performance recovery after exercise, *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 45, 1694-1702 (2013)
- 8) Huttemann, M., Lee, I., Malek, M.H.: (-) -Epicatechin maintains endurance training adaptation in mice after 14 days of detraining, *FASEB. J.*, 26, 1413-1422 (2012)
- 9) Haramizu, S., Ota, N., Hase, T., et al.: Catechins attenuate eccentric exercise-induced inflammation and loss of force production in muscle in senescence-accelerated mice, *J. Appl. Physiol.*, 111, 1654-1663 (2011)

- 10) Nogueira, L., Ramirez-Sanchez, I., Perkins, G.A., et al.: (-)-Epicatechin enhances fatigue resistance and oxidative capacity in mouse muscle, *J. Physiol.*, 15, 4615-4631 (2011)
- 11) Roberts, J.D., Roberts, G.M., Tarpey, M.D., et al.: The effect of decaffeinated green tea extract formula on fat oxidation, body composition and exercise performance, *J. Int. Soc. Sports. Nutr.*, 12,1 (2015)
- 12) Nagao, T., Hase, T., Tokimitsu, I.: A green tea extract high in catechins reduces body fat and cardiovascular risks in humans, *Obesity*, 15, 1473-1483 (2007)
- 13) 山上隼平, 宮下政司, 長谷川雅, 他: 2 週間の高濃度茶カテキン含有飲料継続摂取が間欠性の運動テストから評価した全身持久力に及ぼす影響: 無作為化二重盲検プラセボ対照試験, 日本スポーツ栄養研究誌, 10, 17-25 (2017)
- 14) Dean, S., Braakhuis, A., Paton, C.: The effects of EGCG on fat oxidation and endurance performance in male cyclists, *Int. J. Sport. Nutr. Exerc. Metab.*, 19, 624-644 (2009)
- 15) Eichenberger, P., Mettler, S., Arnold, M., et al.: No effects of three-week consumption of a green tea extract on time trial performance in endurance-trained men, *Int. J. Vitam. Nutr. Res.*, 80, 54-64 (2010)
- 16) Ota, N., Soga, S., Shimotoyodome, A.: Daily consumption of tea catechins improves aerobic capacity in healthy male adults: a randomized double-blind, placebo-controlled, crossover trial, *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 80, 2412-2417 (2016)
- 17) 長谷正: 肥満予防・改善, 茶の効能と応用開発, 2, 95-104 (2006)
- 18) Hodgson, B.A., Randell, K.R., Jeukendrup, E.A.: The effect of green tea extract on fat oxidation at rest and during exercise: evidence of efficacy and proposed mechanisms, *Adv. Nutr.*, 4, 129-140 (2013)
- 19) Richard, J.C., Lonac, M.C., Johnson, T.K., et al.: Epigallocatechin-3-gallate increases maximal oxygen uptake in adult humans, *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 42, 739-744 (2010)
- 20) 高橋淳: 埼玉県における日常の緑茶飲用実態及びカテキン類摂取量の推計, 茶研報, 97, 49-58, (2004)
- 21) 倉田正治, 櫻井隆郎: ガスクロマトグラフィー/質量分析法による茶飲料中カテキン類 8 種の一斉分析, *Bunseki Kagaku*, 61, 63-68 (2012)
- 22) Chow, H.H., Cai, C., Alberts, D.S., et al.: Phase I pharmacokinetic study of tea polyphenols following single-dose administration of epigallocatechin gallate and polyphenon E, *Cancer. Epidemiol. Biomarkers. Prev.*, 10, 53-58 (2001)
- 23) Saunders, P.U., Garvian-Lewis, L.A., Schmidt, W.F., et al.: Relationship between changes in haemoglobin mass and maximal oxygen uptake after hypoxic exposure, *J. Sports. Med.*, 47, i26-i30 (2013)
- 24) Manalo, D.J., Baek, J.H., Buehler, P.W., et al.: Inactivation of prolyl hydroxylase domain (PHD) protein by epigallocatechin (EGCG) stabilizes hypoxia-inducible factor (HIF-1 α) and induces hepcidin (Hamp) in rat kidney, *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 416, 421-426 (2011)
- 25) 平嶋邦猛: エリスロポエチンの基礎と臨床, 日本内科学会雑誌, 80, 1521-1527 (1991)
- 26) Mairbaurl, H.: Red blood cells in sports: effects of exercise and training on oxygen supply by red blood cell, *Front. Physiol.*, 4, 332 (2013)
- 27) 本屋敏郎, 宮田和代, 下園拓郎, 他: 徐放性鉄剤の吸収におよぼすお茶の影響, 病院薬学, 12, 411-414 (1986)
- 28) 三田村民夫, 北園正大, 吉村修: 鉄剤内服時における緑茶飲用の妊婦貧血治療効果に対する影響について, 日本産婦人科学会雑誌, 41, 688-694 (1989)
- 29) 川端浩, 高折晃史: 赤血球の生理機能と産生調節, 日本内科学会雑誌, 104, 1367-1374 (2015)

(受付日: 2017年 3 月 7 日)
(採択日: 2017年 8 月 17 日)

Original Article

Effect of two weeks of tea catechin-rich beverage intake on 3000-meter time-trial performance

Jumpei YAMAGAMI ^{*1}, Masashi MIYASHITA ^{*2}, Tetsuhiro KIDOKORO ^{*3}, Takuma YANAOKA ^{*4, *5}, Kyoko KASHIWABARA ^{*4}, Takuya WAKISAKA ^{*6}, Yuji MATSUI ^{*6}, Masao TAKESHITA ^{*6}, Noriko OSAKI ^{*6}, Yoshihisa KATSURAGI ^{*6}

^{*1} Tokyo Gakugei University, Graduate School of Education

^{*2} Waseda University, Faculty of Sport Sciences

^{*3} Tokyo Gakugei University, The United Graduate School of Education

^{*4} Waseda University, Graduate School of Sport Sciences

^{*5} Japan Society for the Promotion of Science

^{*6} Kao Corporation, Health Care Food Research

ABSTRACT

【Aim】

The purpose of the present study was to examine the effect of two weeks of tea catechin-rich beverage (TCR beverage) intake on whole body endurance, lipid-related markers and hematopoietic factor.

【Methods】

A randomised, double blind, cross-over, placebo-controlled, trial was designed to assess the effect of TCR beverage on whole body endurance, serum erythropoietin and iron in 15 long-distance runners. On the first experimental day, the participants drank water (500 mL) and then performed a 3,000-meter time-trial (3,000 mTT). After the first experimental day, the participants began to drink 1 bottle of either a TCR beverage (tea catechins, 639 mg/500 mL) or a placebo (tea catechins, 0 mg/500 mL) per day for 2 weeks. At the end of this period, they then performed a second 3,000 mTT. After a 2-week wash-out period, the participants switched test drinks and repeated the same protocol as above.

【Results】

The 3000mTT results were significantly faster after the TCR beverage trial than after the placebo trial ($P < 0.05$, main effect of trial). The serum iron and erythropoietin levels were also significantly higher after the TCR beverage trial than after the placebo trial ($P < 0.01$, main effect of trial). No significant differences in lipid-related markers were observed between the two trials.

【Conclusion】

The present findings may suggest that the continuous intake of TCR beverage for two weeks improved the oxygen carrying capacity and enhanced whole body endurance during short, high-intensity exercise.

Keywords: Tea catechin, Whole body endurance, High-intensity exercise