

原著

高濃度茶カテキン継続摂取及びアラニン・プロリン配合ゼリー飲料単回摂取の併用が全身持久力に与える影響

柳岡 拓磨^{*1,*2}、降旗 泰史^{*3}、小泉 友範^{*3}、井上 尚彦^{*3}、三原 隆一^{*4}、太田 宣康^{*5}、峯岸 慶彦^{*5}、大塚 敦子^{*5}、下豊留 玲^{*5}、城所 哲宏^{*6,*7}、柏原 杏子^{*1,*2}、山上 隼平^{*8}、宮下 政司^{*9}

*1 早稲田大学大学院スポーツ科学研究科、*2 日本学術振興会特別研究員 DC、*3 味の素株式会社食品研究所、*4 味の素株式会社研究開発企画部、*5 花王株式会社生物科学研究所、*6 国際基督教大学教養学部保健体育科、*7 順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科、*8 東京学芸大学大学院教育学研究科、*9 早稲田大学スポーツ科学学術院

【目的】

高濃度茶カテキン（TCR）継続摂取及びアラニン（Ala）・プロリン（Pro）配合ゼリー飲料単回摂取の併用が全身持久力に与える影響を検討することであった。

【方法】

運動習慣のある若年成人男性22名を対象に無作為化二重盲検交差試験を用いて全身持久力を評価した。被験者は水500 mLの摂取後、1回目のYo-Yo Intermittent Endurance Test Level 2（Yo-Yo IE 2）を実施した（水試行）。その後、被験（茶カテキン：540 mg）または対照飲料（茶カテキン：0 mg）を14日間摂取した。15日目に被験（Ala：9.0 g、Pro：1.0 g、糖質：82 g）または対照ゼリー飲料（糖質：92 g）を摂取しYo-Yo IE 2を実施した。14日間のウォッシュアウト後、飲料を替えてYo-Yo IE 2を実施した。

【結果】

Yo-Yo IE 2の成績は被験飲料、対照飲料試行で水試行より有意な高値を示した（被験飲料試行： $p = 0.001$ 、 $d = 0.94$ 、対照飲料試行： $p = 0.001$ 、 $d = 0.93$ ）。水試行のYo-Yo IE 2の成績が2,000 m以上の者を対象に層別解析した場合、Yo-Yo IE 2の成績は被験飲料試行で水試行より有意な高値を示した（ $p = 0.028$ 、 $d = 0.90$ ）。Yo-Yo IE 2直後のグルコース濃度は水試行と比較し被験飲料試行で有意な低値を示した（ $p = 0.024$ 、 $d = 0.63$ ）。Yo-Yo IE 2直後のインスリン濃度は被験飲料及び対照飲料試行で水試行と比較し、有意な高値を示した（被験飲料試行： $p = 0.003$ 、 $d = 0.82$ 、対照飲料試行： $p < 0.001$ 、 $d = 1.15$ ）。対照飲料試行は被験飲料試行と比較し、高値を示す傾向が認められた（ $p = 0.077$ ）。

【結論】

TCR継続摂取及びAla・Pro配合ゼリー飲料単回摂取の併用は全身持久力を向上させ、Yo-Yo IE 2の成績が2,000 m以上の者への全身持久力向上効果は糖質単回摂取より高い可能性が示唆された。

キーワード：高濃度茶カテキン アラニン プロリン 糖・脂質代謝 全身持久力

I 緒言

糖質はアスリートにとって運動パフォーマンスを向上させるために重要な栄養素の1つである。高強度運動では主に糖質がエネルギー源として用いられるが¹⁾、

長時間の運動または高強度の運動を繰り返し行った場合、糖質が減少し運動パフォーマンス低下の要因の一つとなる¹⁾。糖質の減少による疲労を予防するための方法はいくつか報告されているが、食品の摂取はスポーツ現場での応用の容易性から、選手や監督から広

く用いられている²⁾。

糖質の運動前の単回摂取による全身持久力の向上は広く認められているが^{1), 3)}、近年、糖質に加えてアミノ酸を同時摂取することで、全身持久力を向上させることが明らかとなっている⁴⁾。これまでの研究では、糖質に付け加えるアミノ酸として分岐鎖アミノ酸などの必須アミノ酸を用いた研究が多く⁴⁾、我々の知る限り糖原性アミノ酸を用いた報告は少ない。糖原性アミノ酸は、肝臓での糖新生に用いられ、長時間の運動時にグルコースや全身持久力を向上させる効果を有すると報告されている⁵⁾。例えばNogusaらは動物試験において、長時間の運動前の糖質及び糖原性アミノ酸であるアラニン・プロリンの同時単回摂取の効果を検討している⁵⁾。Nogusaらは、糖質のみを摂取した場合と比較し糖質・アラニン・プロリンの同時摂取は、グルコースの維持及び限界走行時間の延長に寄与することを明らかにしている⁵⁾。またこの報告では、糖質・アラニン・プロリンの同時単回摂取は糖質のみを摂取した場合と比較し、運動開始60分後の肝グリコーゲン量が高値を示していたことから、糖質・アラニン・プロリンの摂取は運動中の肝グリコーゲンの再合成または温存に有効であった可能性を示唆している⁵⁾。

脂質代謝の亢進による糖質の温存も全身持久力を向上させる要因の一つであることが報告されている⁶⁾。脂質代謝を亢進させる栄養素の一つとして、茶カテキンが知られている。茶カテキンが脂質代謝に与える影響に関しては、動物試験、ヒト試験共に検討されており、運動中の脂質代謝を亢進させることが明らかとなっている^{7), 8)}。これまでのヒト試験の結果から、脂質代謝を亢進させるためには500~600 mg/日程度を14日間以上摂取する必要があると示唆されている⁹⁾。また近年の報告より、茶カテキンが脂質代謝を亢進させるのみならず、全身持久力を向上させる可能性が示唆されている⁹⁾。山上らは週4~5日の運動トレーニングを行う健康男子学生を対象に639 mg/日の茶カテキンの14日間の継続摂取が全身持久力に与える影響を検討し、先行研究で広く用いられている全身持久力試験であるYo-Yo Intermittent Endurance Test Level 2 (Yo-Yo IE 2) の成績が向上したことを報告している⁹⁾。同様にOtaらは健康成人男性を対象に570 mg/日の茶カテキンの8週間継続摂取及び週2回の運動を併用することで呼吸及び筋酸素動態から評価した有酸素能力が向上したと報告している¹⁰⁾。

先行研究によって、糖質・アラニン・プロリンの同時単回摂取は動物試験においてグルコースの維持及び全身持久力の向上に寄与すること⁵⁾、また茶カテキンの継続摂取が脂質代謝の亢進及び全身持久力の向上に寄与することが明らかとなっているが^{7)~9)}、これらの摂取を併用した際の効果を検討した報告はなく、相乗効果が認められるか明らかでない。従って、本研究の

目的は茶カテキン濃度として市販ペットボトル緑茶飲料(茶カテキン濃度は約0.2-0.3 mg/mL^{11), 12)})の5~6倍の茶カテキンを含有している高濃度茶カテキン継続摂取及びアラニン・プロリン配合ゼリー飲料単回摂取の併用が全身持久力に与える影響を検討することとした。本研究では、全身持久力試験としてYo-Yo IE 2を用いた。その理由は、高濃度茶カテキンまたはアラニン・プロリン配合ゼリー飲料の摂取が運動パフォーマンスに与える影響を検討した報告では1時間以上の運動を用いている報告が多く^{5), 8)}、これらの先行研究より短時間・高強度の運動を用いて全身持久力を評価することによって、あらゆる運動場面で高濃度茶カテキンまたはアラニン・プロリン配合ゼリー飲料の摂取が有効であるか明らかにするためである。

II 方法

1. 対象者

本研究の対象者は、外科的障害及び内科的疾患を有していない大学の体育会運動部に所属しており、週5日以上トレーニングを実施している若年成人男性とした。対象者に対して実験に先立ち、研究の目的、方法、安全性、個人情報の管理等に関して十分な説明を行った。その後、本人の自由な意思のもと、書面による研究参加への同意を得た。同意を得ることのできた25名を被験者とした。試験期間中に研究参加への同意を撤回した者が3名いたため、分析対象は22名とした。被験者の身体的特徴は、年齢 21 ± 1 歳、身長 175.4 ± 5.4 cm、体重 70.6 ± 7.4 kg、体脂肪率 15.0 ± 2.6 % (平均±標準偏差)であった。また本研究は、東京学芸大学研究倫理委員会の承認を受け実施した(承認番号:157)。

2. 試験飲料

被験飲料として茶カテキンを含有する飲料(茶カテキン:540 mg/500 mL)、対照飲料として茶カテキンを含有しない飲料(茶カテキン:0 mg/500 mL)を用いた。両飲料は外見や風味から区別がつかないように調整した。被験ゼリー飲料としてアラニン・プロリンを含有するゼリー飲料(アラニン:4.5 g/130 g、プロリン:0.5 g/130 g、糖質:41 g/130 g)、対照ゼリー飲料としてアラニン・プロリンを含有しないゼリー飲料(糖質:46 g/130 g)を用いた。両ゼリー飲料は外見や風味から区別がつかないように調整した。両ゼリー飲料のエネルギー量は同一であった。それぞれの飲料及びゼリー飲料の組成を表1に示した。

3. 研究デザイン

本試験は無作為化二重盲検交差試験法を用いて実施した。研究プロトコルを図1に示した。被験者は食品

表 1 試験飲料組成

	被験飲料	対照飲料
総カテキン (mg/500 mL)	540	0
タンパク質 (g/500 mL)	0	0
脂肪 (g/500 mL)	0	0
炭水化物 (g/500 mL)	8.0	8.0
エネルギー (kcal/500 mL)	17	17
	被験ゼリー飲料	対照ゼリー飲料
タンパク質 (g/130 g)	5.0	0
DL-アラニン	4.5	0
L-プロリン	0.5	0
脂肪 (g/130 g)	0	0
炭水化物 (g/130 g)	41	46
エネルギー (kcal/130 g)	180	180

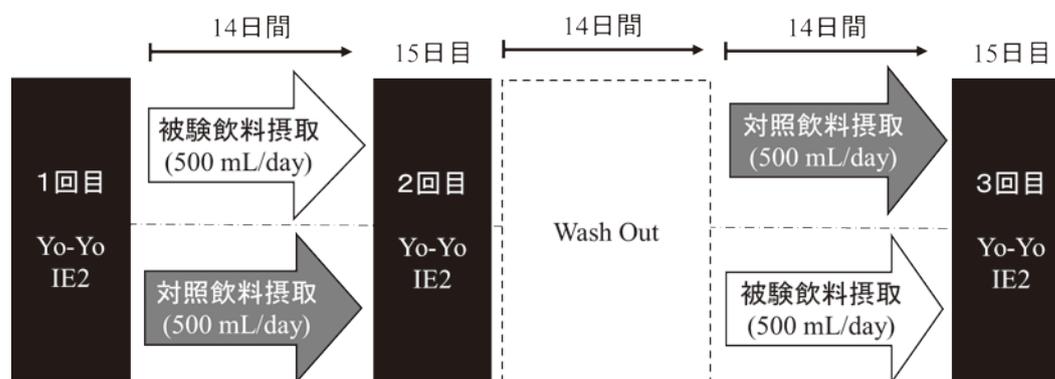


図 1 研究プロトコル

Yo-Yo IE 2 : Yo-Yo Intermittent Endurance Test Level 2

摂取前のBaseline測定として、1回目（水試行）の全身持久力試験（Yo-Yo IE 2）を実施した。その後、被験者は無作為に被験飲料先行摂取試行（茶カテキン+糖+アミノ酸試行）もしくは対照飲料摂取試行（糖試行）に割り付けられ、当該飲料を1日500 mL、14日間摂取した。15日目に2回目のYo-Yo IE 2を実施した。14日間のウォッシュアウト期間を経た後、飲料及びゼリー飲料を替えて同様の内容を実施した。高濃度茶カテキン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^{13),14)}及び高濃度茶カテキン飲料摂取が全身持久力に与える影響を検討した先行研究でも14日間のウォッシュアウト期間を設けていること⁸⁾から本研究も同様にウォッシュアウト期間を14日間と規定した。

Yo-Yo IE 2 当日のプロトコルを図2に示した。被験者は夜間絶食の後に来研し、初めに30分の安静を保った。安静後、15分間の規定されたウォーミングアップを行った。その後、被験者は茶カテキン+糖+アミ

ノ酸試行では被験ゼリー飲料、糖試行では対照ゼリー飲料をそれぞれ260 g摂取した。ただし、1回目のYo-Yo IE 2では500 mLの水を摂取した。ゼリー飲料摂取後、15分間の安静を保った後にYo-Yo IE 2を実施した。Yo-Yo IE 2は全身持久力を評価する試験として、多くの研究で用いられており、再現性も認められている^{15),16)}。Yo-Yo IE 2は、回数を重ねるごとに間隔が短くなっていく20 mの往復走と5秒間で5 mを歩く休息を繰り返し、20 mの往復走の総走行距離で成績を評価する試験である。20 mの往復走の間隔及び5秒間の休息はシグナル音で調整されており、20 m走の往復走を規定されたシグナル内に累計2回達成できなかった場合に試験は終了となる。さらにYo-Yo IE 2はその走行距離から全身持久力をクラス分けすることが可能であり、2,000 m未満は低い全身持久力、2,000 m以上は中程度以上の全身持久力と判断される¹⁷⁾。

本試験の結果に影響を与えることが考えられるため、被験者は試験飲料摂取14日前から緑茶飲料の摂取

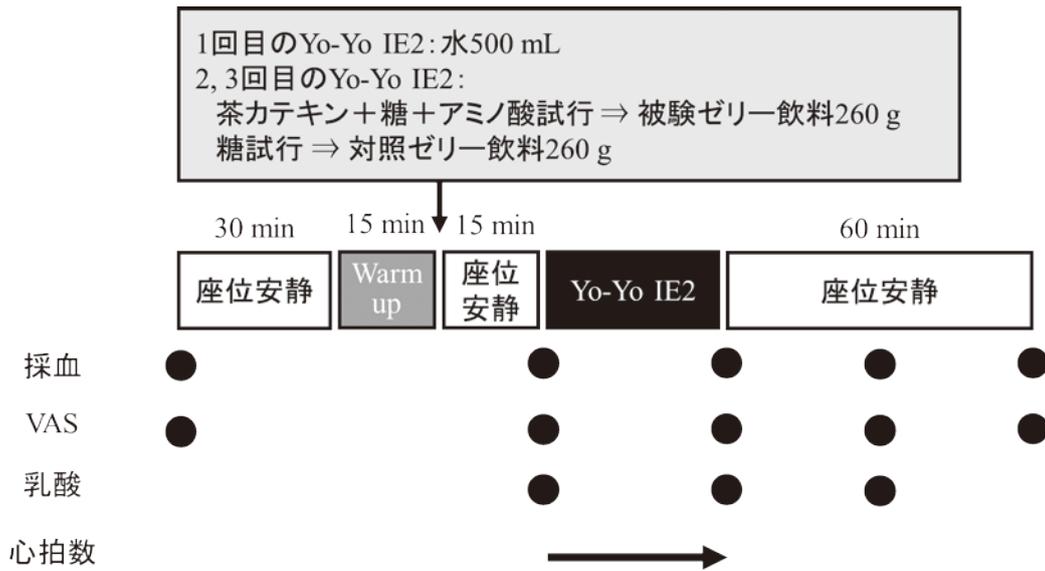


図2 Yo-Yo IE2 当日のプロトコル

被験飲料を14日間摂取した被験者は被験ゼリー飲料を摂取し(茶カテキン+糖+アミノ酸試行)、対照飲料を14日間摂取した被験者は対照ゼリー飲料(糖試行)を摂取した。
Yo-Yo IE2: Yo-Yo Intermittent Endurance Test Level 2、茶カテキン+糖+アミノ酸試行: 被験飲料試行、糖試行: 対照飲料試行、VAS: 視覚的評価スケール

及び過度なカフェイン(一日あたりコーヒー2杯程度)の摂取を控えること、試験期間中はアミノ酸を含有するサプリメント、糖質代謝及び脂質代謝に影響を及ぼすことが想定される栄養素を含んだ栄養食品やサプリメントの摂取を控えることを試験の説明会で指示された。さらに、Yo-Yo IE2の2日前よりアルコールの摂取を控え、Yo-Yo IE2の前日は激しい運動を実施しないように指示された。前日の食事及び間食は3回のYo-Yo IE2で同一になるようにした。またYo-Yo IE2の当日は、試験が終了するまでゼリー飲料および水以外の飲食を控えた。試験の開始時間は日内変動の影響を考慮し、3回のYo-Yo IE2で同一とした。

4. 測定項目

血漿グルコース、血清中性脂肪、血清遊離脂肪酸、血漿アドレナリン、血漿ノルアドレナリン、血漿インスリンの測定のために、Yo-Yo IE2の60分前(Rest)、直前(Pre)、直後(Post1)、30分後(Post2)、60分後(Post3)に肘正中静脈より採血を行った。得られた血液サンプルは、4℃、3,000 rpmで10分間の遠心分離を行った後、-80℃で冷凍保存をした。血漿グルコース、血清中性脂肪、血清遊離脂肪酸は酵素法(デタミナーC-TG; 協和メデックス株式会社製、NE-FA-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)、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(A液、B液、C液、D液、E液、東ソー株式会社製)

を用いて、測定した。血漿インスリンの分析は、市販のキット(Mercodia Insulin ELISA、Mercodia社製)を用いて酵素免疫測定法により分析を行った。血中乳酸は、測定器(ラクテート・プロ2 LT-1730、アークレイ社製)を用い、指先の全血からYo-Yo IE2の直前(Pre)、直後(Post1)、30分後(Post2)に測定した。心拍数は、心拍計(RCX3、Polar社製)を用い、Yo-Yo IE2 Test開始直前から終了まで5秒間隔で測定し、専用ソフトウェア(Polar Pro Trainer 5バージョン5.4、Polar社製)を用い平均心拍数、最大心拍数を算出した。主観的疲労度は、10 cmの尺度表(視覚的評価スケール: VAS)を用いて、Yo-Yo IE2の60分前(Rest)、直前(Pre)、直後(Post1)、30分後(Post2)、60分後(Post3)に測定した。

本試験における気温、湿度、湿球黒球温度(WBGT)はそれぞれ 16.0 ± 3.3 ℃、 56.5 ± 10.7 %、 12.7 ± 3.0 ℃(平均±標準偏差)であり、3回行われた全身持久力試験の間で有意な差が認められないことを確認した。

5. 統計解析

本研究と同様にYo-Yo IE2を用いて高濃度茶カテキン継続摂取が全身持久力に及ぼす影響を検討した山上らの先行研究⁹⁾を参考に検定力を80%、有意水準を0.05の条件で、本研究に必要なサンプルサイズをG*Power 3を用いて算出した¹⁸⁾。その結果、本研究では9名以上の被験者が必要であった。

すべての値は、平均±標準偏差で示した。分析には

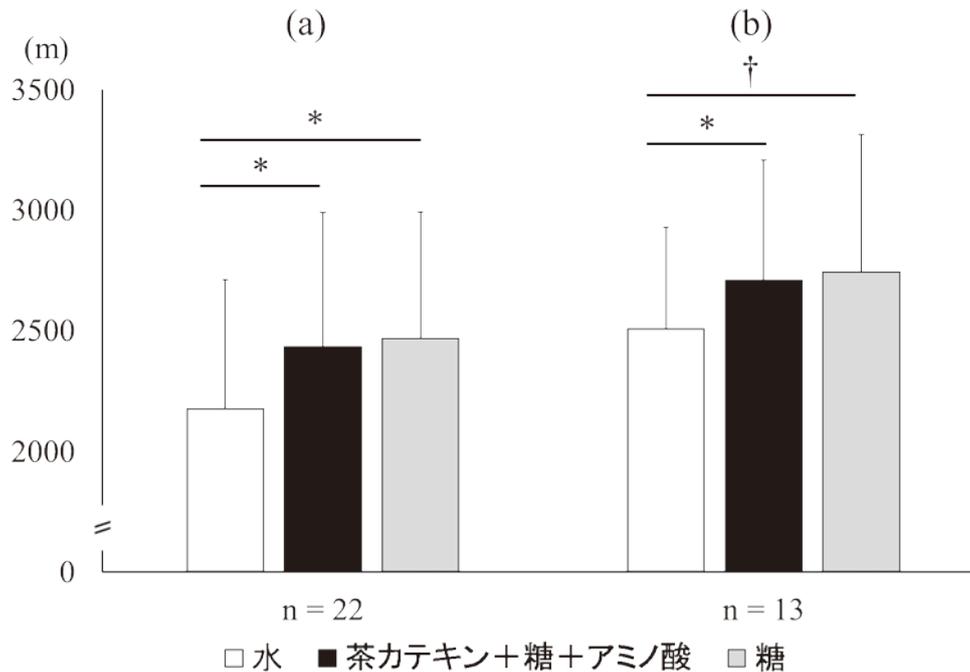


図3 Yo-Yo Intermittent Endurance Test Level 2 の総走行距離

平均値±標準偏差 対応のある1元配置の分散分析

(a)：全ての被験者を対象とした場合、(b)：水試行のYo-Yo IE 2の総走行距離が2,000 m以上を達成した者を対象に層別解析した場合、水：1回目のYo-Yo IE 2、茶カテキン+糖+アミノ酸：被験飲料試行、糖：対照飲料試行

*：p < 0.05、†：0.1 > p > 0.05

統計分析ソフト (Predictive Analytics Softwareバージョン18.0、SPSS Japan株式会社製) を用いた。Yo-Yo IE 2の成績、平均心拍数、最大心拍数は、対応のある1元配置の分散分析を用い分析した。試行の主効果が認められた場合Bonferroni法を用い、その後の検定を行った。血漿グルコース、血清中性脂肪、血清遊離脂肪酸、血漿アドレナリン、血漿ノルアドレナリン、血漿インスリン、血中乳酸は、対応のある2元配置の分散分析を用い分析した。飲料と時間の交互作用が認められた場合、Bonferroni法を用い、その後の検定を行った。検定の有意水準は5%未満とした。また、p値が5%以上10%未満であった場合は傾向と判断した。さらにその後の検定で有意な差が認められた場合、効果量 (Cohen's d) を算出した。反復測定試験法を用いているため、効果量の算出には下記に示すMorris and DeShonの式を用いた¹⁹⁾。

$$d = M_{diff} / SD_{pooled} \sqrt{2(1-r)}$$

M_{diff} は試行間の平均値の差、 SD_{pooled} は併合標準偏差、 r は相関係数を示す。Chohenの先行研究に基づき、効果量の判断は小：0.20 < d < 0.59、中：0.60 < d < 1.19、大：1.20 < dとした²⁰⁾。

Ⅲ 結果

1. Yo-Yo Intermittent Endurance Test Level 2 総走行距離

Yo-Yo IE 2 総走行距離を図3 (a) に示した。水試行、茶カテキン+糖+アミノ酸試行、糖試行の総走行距離は、それぞれ2,179±532、2,433±525、2,468±558 mであった。試行間に有意な差が認められ (p < 0.001)、茶カテキン+糖+アミノ酸試行、糖試行は水試行より有意な高値を示した (茶カテキン+糖+アミノ酸試行：p = 0.001、d = 0.94、糖試行：p = 0.001、d = 0.93)。茶カテキン+糖+アミノ酸及び糖試行の間には有意な差は認められなかった。

図3 (b) に水試行のYo-Yo IE 2の成績が2,000 m以上を達成した者を対象に層別解析した結果を示した。水試行、茶カテキン+糖+アミノ酸試行、糖試行の総走行距離は、それぞれ2,507±423、2,710±499、2,743±571 mであった。試行間に有意な差が認められ (p = 0.013)、茶カテキン+糖+アミノ酸試行は水試行より有意な高値を示した (p = 0.028、d = 0.90)。糖試行は水試行より高値を示す傾向が認められた (p = 0.067、d = 0.80)。茶カテキン+糖+アミノ酸試行及び糖試行の間には有意な差は認められなかった。

2. 血中代謝関連項目

血漿グルコース、血清中性脂肪、血清遊離脂肪酸、血漿アドレナリン、血漿ノルアドレナリン、血漿インスリン、血中乳酸の結果を表2に示した。血漿グルコースに関して、Preでは茶カテキン+糖+アミノ酸及び糖試行は水試行と比較し、有意な高値を示した（茶カテキン+糖+アミノ酸試行： $p=0.004$ 、 $d=0.84$ 、糖試行： $p<0.001$ 、 $d=1.12$ ）。糖試行は茶カテキン+糖+アミノ酸試行と比較し、高値を示す傾向が認められた（ $p=0.064$ ）。Post1では、茶カテキン+糖+アミノ酸試行は水試行と比較し、有意な低値を示した（ $p=0.024$ 、 $d=0.63$ ）。血清遊離脂肪酸、血漿アドレナリン、血漿ノルアドレナリンに関して、すべての測定ポイントにおいて茶カテキン+糖+アミノ酸及び糖試行試行間の差は認められなかった。血漿インスリンに関して、Pre、Post1では茶カテキン+糖+アミノ酸及び糖試行は水試行と比較し、有意な高値を示した（Pre；茶カテキン+糖+アミノ酸試行： $p<0.001$ 、 $d=1.47$ 、糖試行： $p<0.001$ 、 $d=1.81$ 、Post1；茶カテキン+糖+アミノ酸試行： $p=0.003$ 、 $d=0.82$ 、糖試行： $p<0.001$ 、 $d=1.15$ ）。Post1においてのみ、糖試行は茶カテキン+糖+アミノ酸試行と比較し、高値を示す傾向が認められた（ $p=0.077$ ）。血中乳酸に関して、Preでは茶カテキン+糖+アミノ酸及び糖試行は水試行と比較し、有意な高値を示した（茶カテキン+糖+アミノ酸試行： $p<0.001$ 、 $d=1.24$ 、糖試行： $p<0.001$ 、 $d=1.24$ ）。

表3に水試行のYo-Yo IE2の成績が2,000 m以上を達成した者を対象に層別解析した血中代謝関連項目の結果を示した。血漿グルコースに関して、Preでは糖試行は水試行と比較し、有意な高値を示した（ $p=0.004$ 、 $d=4.11$ ）。また糖試行は、茶カテキン+糖+アミノ酸試行と比較し高値を示す傾向が認められた（ $p=0.075$ ）。Post1では茶カテキン+糖+アミノ酸及び糖試行は水試行と比較し、有意な低値を示した（茶カテキン+糖+アミノ酸試行： $p=0.004$ 、 $d=1.96$ 、糖試行： $p=0.037$ 、 $d=1.48$ ）。血清遊離脂肪酸、血漿アドレナリン、血漿ノルアドレナリンに関して、すべての測定ポイントにおいて茶カテキン+糖+アミノ酸及び糖試行間の差は認められなかった。血漿インスリンに関して、Preでは茶カテキン+糖+アミノ酸及び糖試行は水試行と比較し、有意な高値を示した（茶カテキン+糖+アミノ酸試行： $p=0.001$ 、 $d=1.62$ 、糖試行： $p<0.001$ 、 $d=1.89$ ）。Post1では糖試行は水試行と比較し、有意な高値を示した（ $p=0.017$ 、 $d=0.94$ ）。茶カテキン+糖+アミノ酸試行は水試行と比較し、高値を示す傾向が認められた（ $p=0.058$ ）。糖試行は茶カテキン+糖+アミノ酸試行と比較し、有意な高値を示す傾向が認められた（ $p=0.091$ ）。

3. 心拍数

Yo-Yo IE2における水試行、茶カテキン+糖+アミノ酸試行、糖試行の最高心拍数はそれぞれ、 189 ± 9 、 191 ± 9 、 193 ± 11 拍/分であった。また水試行、茶カテキン+糖+アミノ酸試行、糖試行の平均心拍数はそれぞれ、 168 ± 9 、 171 ± 9 、 172 ± 10 拍/分であった。最高心拍数には試行の主効果が認められ（ $p=0.020$ ）、茶カテキン+糖+アミノ酸及び糖試行は、水試行と比較し高値を示す傾向が認められた（ $p=0.057$ 、 $p=0.073$ ）。平均心拍数には試行の主効果は認められなかった。

水試行のYo-Yo IE2の総走行距離が2,000 m以上を達成した者を層別解析した結果、Yo-Yo IE2における水試行、茶カテキン+糖+アミノ酸、糖試行の最高心拍数はそれぞれ、 192 ± 9 、 193 ± 9 、 194 ± 11 拍/分であった。また水試行、茶カテキン+糖+アミノ酸試行、糖試行の平均心拍数はそれぞれ、 171 ± 10 、 173 ± 10 、 172 ± 11 拍/分であった。最高心拍数及び平均心拍数共に試行の主効果は認められなかった。

4. 主観的疲労度

主観的疲労度に関して、時間の主効果は認められたが（ $p<0.001$ ）、飲料の主効果、飲料と時間の交互作用は認められなかった。

水試行のYo-Yo IE2の総走行距離が2,000 m以上を達成した者を対象に層別解析した結果、時間の主効果は認められたが（ $p<0.001$ ）、飲料の主効果、飲料と時間の交互作用は認められなかった。

IV 考察

本研究は、高濃度茶カテキン継続摂取及びアラニン・プロリン配合ゼリー飲料単回摂取の併用が先行研究^{5), 8)}と比較し短時間の運動を用いて評価した全身持久力に与える影響を検討した。本研究の仮説は、高濃度茶カテキン継続摂取及びアラニン・プロリン配合ゼリー飲料単回摂取の併用を実施した場合、高濃度茶カテキン継続摂取による運動中の脂質代謝の亢進及びアラニン・プロリンを摂取することによって糖のみの摂取と比較し、運動中の血糖の減少が抑制されることを介して、全身持久力が向上することであった。本研究の結果、水を摂取した場合と比較し高濃度茶カテキン継続摂取及びアラニン・プロリン配合ゼリー飲料単回摂取の併用は全身持久力を向上させることが明らかとなった。同様に対照飲料である糖質単回摂取も水摂取と比較し、全身持久力を向上させることが明らかとなった。さらに本研究では水試行のYo-Yo IE2の成績が2,000 m以上であり、全身持久力が中程度以上であると評価される被験者に限定して評価した²¹⁾。その理由として、山上が高濃度茶カテキンの継続摂取の全

表 2 被験者全体の血中代謝関連項目

		Rest	Pre	Post1	Post2	Post3	p 値
グルコース (mg/dL)	水	90.0 ± 5.3	89.2 ± 7.2	133.5 ± 27.8	104.5 ± 21.7	83.6 ± 6.9	試行：N.S.
	被験飲料	89.5 ± 12.7	97.5 ± 12*	111.4 ± 32.9*	115.2 ± 29.5	88.3 ± 22.9	時間：p < 0.05
	対照飲料	87.9 ± 8.3	103.7 ± 16.1*†	124.4 ± 31.4	120.4 ± 21.9*	88.5 ± 14.3	交互作用：p < 0.05
中性脂肪 (mg/dL)	水	84.7 ± 39.0	80.0 ± 39.2	85.5 ± 43.4	69.1 ± 39.9	68.0 ± 34.8	試行：N.S.
	被験飲料	85.5 ± 65.4	76.5 ± 66.9	91.7 ± 77	71.5 ± 69.3	69.2 ± 68.9	時間：p < 0.05
	対照飲料	94.8 ± 86.3	106.8 ± 180.2	126.6 ± 218.3	100.4 ± 171.7	100.0 ± 182.9	交互作用：N.S.
遊離脂肪酸 (mmol/L)	水	0.43 ± 0.23	0.39 ± 0.18	0.51 ± 0.19	0.30 ± 0.12	0.27 ± 0.11	試行：p < 0.05
	被験飲料	0.42 ± 0.28	0.32 ± 0.18	0.32 ± 0.13*	0.15 ± 0.06*	0.09 ± 0.04*	時間：p < 0.05
	対照飲料	0.43 ± 0.23	0.33 ± 0.16	0.34 ± 0.13*	0.17 ± 0.09*	0.11 ± 0.06*	交互作用：p < 0.05
アドレナリン (pg/mL)	水	34.1 ± 21.1	40.5 ± 18.1	338.6 ± 257.1	47.1 ± 17.5	40.9 ± 15.4	試行：p < 0.05
	被験飲料	27.3 ± 14.2	25.0 ± 11.9*	97.3 ± 69*	31.8 ± 15.3*	31.4 ± 11.3	時間：p < 0.05
	対照飲料	30.0 ± 13.8	26.8 ± 17.8*	108.2 ± 51*	30.0 ± 9.8*	28.6 ± 10.4*	交互作用：p < 0.05
ノルアドレナリン (pg/mL)	水	366 ± 112	423 ± 176	3,315 ± 1,099	522 ± 129	411 ± 108	試行：p < 0.05
	被験飲料	374 ± 159	323 ± 160	1,817 ± 734*	479 ± 115	428 ± 128	時間：p < 0.05
	対照飲料	323 ± 121	278 ± 61*	1,705 ± 545*	430 ± 114*	390 ± 101	交互作用：p < 0.05
インスリン (mU/L)	水	4.5 ± 2.6	3.8 ± 1.3	8.7 ± 4.2	7.5 ± 3.8	3.9 ± 1.8	試行：p < 0.05
	被験飲料	5.2 ± 2.6	11.5 ± 5.9*	13.6 ± 5.9*	21.9 ± 11.7*	21.7 ± 12.1*	時間：p < 0.05
	対照飲料	6.0 ± 4.6	13.2 ± 7.0*	16.9 ± 6.0*†	28.9 ± 21.0*	25.0 ± 13.3*	交互作用：p < 0.05
乳酸 (mmol/L)	水	-	1.3 ± 0.5	11.7 ± 4.0	5.6 ± 2.7	-	試行：p < 0.05
	被験飲料	-	3.3 ± 1.6*	11.9 ± 2.6	5.9 ± 2.6	-	時間：p < 0.05
	対照飲料	-	3.6 ± 1.9*	13.3 ± 3.9	5.7 ± 3.3	-	交互作用：p < 0.05

n = 22 平均値 ± 標準偏差 対応のある 2 元配置の分散分析

水：1 回目の Yo-Yo IE2、被験飲料：被験飲料試行（茶カテキン + 糖 + アミノ酸試行）、対照飲料：対照飲料試行（糖試行）

*：vs Baseline p < 0.05、†：vs 被験飲料試行 0.1 > p > 0.05

身持久力向上効果は対象者の全身持久力の程度によって異なる可能性を報告しているためである⁹⁾。その結果、水試行と場合と比較し、高濃度茶カテキン継続摂取及びアラニン・プロリン配合ゼリー飲料単回摂取の併用は全身持久力を向上させ、またその効果量（茶カテキン + 糖 + アミノ酸試行：d = 0.90、糖試行：d = 0.80）から全身持久力の向上効果は糖質単回摂取と比較した場合、高濃度茶カテキン継続摂取及びアラニン・プロリン配合ゼリー飲料単回摂取の併用でより高いことが示唆された。

本研究では全ての被験者を対象にした場合、水試行と比較し茶カテキン + 糖 + アミノ酸試行と糖試行で Yo-Yo IE2 の成績が高値を示す一方で、茶カテキン + 糖 + アミノ酸及び糖試行間で有意な差は認められなかった。従って、各試行で全身持久力を高めるために重要な栄養素は糖質であった可能性が高い。この結果は先行研究と一致しており、糖質摂取がその後の全身持久力を向上させることを支持した²¹⁾。さらに本研究で得られた新たな知見として、高濃度茶カテキン継続摂取及びアラニン・プロリン配合ゼリー飲料単回摂取の併用が中程度以上の全身持久力保持者に対して全身

持久力向上効果がより高かったことが挙げられる。山上らは14日間の高濃度茶カテキン継続摂取がYo-Yo IE2 の成績に与える影響を検討し、高濃度茶カテキン継続摂取は中程度以上の全身持久力保持者のYo-Yo IE2 の成績を向上させたことを明らかにした⁹⁾。またそのメカニズムとして、山上らは中程度以上の全身持久力保持者は健常者と比べ運動中の脂質代謝が亢進しやすく²²⁾、運動中の糖質の温存に繋がった可能性を示唆している⁹⁾。一方、本研究では、脂質代謝関連項目である血清遊離脂肪酸及び血漿アドレナリン濃度は全ての被験者、中程度以上の全身持久力保持者を対象にした場合共に茶カテキン + 糖 + アミノ酸、糖試行間で有意な差は認められなかった。従って、本研究では高濃度茶カテキン継続摂取及びアラニン・プロリン単回摂取の併用が脂質代謝を亢進させていたとは考えづらい。アスリートと健常者の特性の違いとして、脂質代謝の亢進だけではなく肝グリコーゲンの消費率の違いも明らかにされている²³⁾。例えば最大酸素摂取量の80%の運動をアスリートと健常者に実施させた場合、肝グリコーゲンの分解率はアスリートで約5.3 mg/kg/min、健常者で約6.9 mg/kg/minであることが示され

表3 BaselineのYo-Yo IE 2 の成績が2000 m以上を達成した被験者の血中代謝関連項目

		Rest	Pre	Post1	Post2	Post3	p 値
グルコース (mg/dL)	水	89.9 ± 4.3	91.3 ± 5.8	140.9 ± 24.5	104.9 ± 21.5	82.8 ± 7.1	試行：N.S.
	被験飲料	89.3 ± 16	96.7 ± 12.3	109.2 ± 30.4*	114.6 ± 34.4	90.0 ± 26.0	時間：p < 0.05
	対照飲料	89.7 ± 9.7	104.5 ± 13.5*§	120.9 ± 31.2*	121.2 ± 22.5	89.6 ± 14.1	交互作用：p < 0.05
中性脂肪 (mg/dL)	水	89.8 ± 44.3	82.5 ± 42.9	89.1 ± 48.6	70.2 ± 42.5	68.2 ± 36.6	試行：N.S.
	被験飲料	93.6 ± 83.7	87.6 ± 85.2	103.8 ± 97.8	82.5 ± 88.4	79.8 ± 88.7	時間：N.S.
	対照飲料	105.5 ± 110.4	130.8 ± 234.2	154.2 ± 283.4	119.9 ± 223.8	121.2 ± 238.7	交互作用：N.S.
遊離脂肪酸 (mmol/L)	水	0.43 ± 0.26	0.37 ± 0.19	0.5 ± 0.17	0.27 ± 0.09	0.24 ± 0.12	試行：p < 0.05
	被験飲料	0.34 ± 0.26	0.28 ± 0.18	0.29 ± 0.15	0.15 ± 0.07	0.09 ± 0.04	時間：p < 0.05
	対照飲料	0.42 ± 0.22	0.31 ± 0.16	0.35 ± 0.17	0.18 ± 0.11	0.11 ± 0.07	交互作用：N.S.
アドレナリン (pg/mL)	水	33.1 ± 19.3	36.2 ± 15	407.7 ± 281.3	44.6 ± 14.5	40 ± 16.8	試行：p < 0.05
	被験飲料	29.2 ± 15.5	21.5 ± 8.0*	115.4 ± 71.3*	28.5 ± 9.0*	30.8 ± 11.9	時間：p < 0.05
	対照飲料	24.6 ± 6.6	22.3 ± 10.1	122.3 ± 50.7*	28.5 ± 9.0*	26.9 ± 6.3‡	交互作用：p < 0.05
ノルアドレナリン (pg/mL)	水	344 ± 96	395 ± 127	3,652 ± 1,081	530 ± 115	398 ± 103	試行：p < 0.05
	被験飲料	382 ± 151	355 ± 196	2,238 ± 543*	472 ± 85	461 ± 153	時間：p < 0.05
	対照飲料	320 ± 98	278 ± 66	1,961 ± 548*	441 ± 119	378 ± 74	交互作用：p < 0.05
インスリン (mU/L)	水	4.2 ± 1.4	3.8 ± 1.1	9.7 ± 4.5	8.4 ± 3.6	4.2 ± 2.1	試行：p < 0.05
	被験飲料	5.5 ± 2.9	13.1 ± 6.9*	13.8 ± 4.0‡	20.5 ± 13.1*	21.9 ± 11.6*	時間：p < 0.05
	対照飲料	7.0 ± 5.7	15.4 ± 6.4*	17.7 ± 7.4*§	31.6 ± 26.3*	27.3 ± 15.2*	交互作用：p < 0.05
乳酸 (mmol/L)	水	-	1.3 ± 0.6	12.7 ± 3.6	5.4 ± 1.9	-	試行：N.S.
	被験飲料	-	3.7 ± 1.9	12.1 ± 3.1	6.2 ± 4.1	-	時間：p < 0.05
	対照飲料	-	3.3 ± 1.6	14.1 ± 4.4	5.6 ± 2.8	-	交互作用：N.S.

n = 13 平均値 ± 標準偏差 対応のある 2 元配置の分散分析

水：1 回目の Yo-Yo IE2、被験飲料：被験飲料試行（茶カテキン+糖+アミノ酸試行）、対照飲料：対照飲料試行（糖試行）

*：vs Baseline p < 0.05、‡：vs Baseline 0.1 > p > 0.05、§：vs 被験飲料試行 0.1 > p > 0.05

ている²³⁾。アスリート及び健常者間で夜間絶食後の肝グリコーゲン量には差が認められないことが明らかとなっており²³⁾、アスリートは運動中の肝グリコーゲンの分解を抑え、その結果としてグルコースの減少や運動パフォーマンスの維持が可能であると考えられる²³⁾。動物試験ではあるものの、糖質・アラニン・プロリンの同時摂取は運動中の肝グリコーゲンの再合成または温存に有効であることが示唆されている⁵⁾。本研究で肝グリコーゲンに関して示唆することはできないが、高濃度茶カテキン継続摂取及びアラニン・プロリン配合ゼリー飲料単回摂取の併用が中程度以上の全身持久力保持者に全身持久力向上効果がより高かったことから、肝グリコーゲンの分解がより抑えられるアスリートにとって糖質・アラニン・プロリンの同時摂取は運動当初の糖の温存により効果が高く、全身持久力の向上に寄与していた可能性も考えられる。この可能性に関して、今後さらなる検討が望まれる。

本研究では全ての被験者を対象にした場合、Post 1 の血漿インスリン濃度に関して茶カテキン+糖+アミノ酸試行は水試行と比較し有意に高値を示し、糖試行と比較し有意な低値を示した。インスリンは骨格筋に

おけるグルコースの取り込みを促進すると報告されている²⁴⁾。従って、糖試行は茶カテキン+糖+アミノ酸試行と比較し骨格筋でのグルコースの取り込みが多かったことが推察される。一方、Post 1 の血漿グルコース濃度に関して茶カテキン+糖+アミノ酸試行でのみ水試行と比較し有意な低値を示した。糖試行は骨格筋でのグルコースの取り込みが多いことが推察されるにも関わらず、茶カテキン+糖+アミノ酸試行のみ水試行と比較し血漿グルコース濃度が有意な低値を示したことは、茶カテキン+糖+アミノ酸試行で肝臓からの糖の供給が少なかった、すなわち運動中に糖の温存が働いた可能性が考えられる。Kleinらは熟練サイクリストを対象に45分間の最大酸素摂取量の75%の強度のサイクリング運動及びその後の15分間のタイムトライアルテストを用いて、糖質とアラニンの摂取が糖、脂質、タンパク質代謝及び運動パフォーマンスに与える影響を検討している²⁵⁾。その報告によると運動パフォーマンスには試行間で有意な差は認められなかったものの、プラセボ試行において45分間の運動後に低下したグルコース濃度は糖質摂取試行において有意に上昇し、インスリン濃度も運動前と比較し有意に上昇

した²⁵⁾。一方、糖質・アラニンの同時摂取試行ではグルコース濃度及びインスリン濃度は運動前と変化しなかったと報告している²⁵⁾。これらのことから、糖質摂取は摂取後にグルコース濃度が上昇し骨格筋への取り込みが亢進するが、アラニンを摂取することによりグルコースの骨格筋への取り込みを抑制、すなわち糖の温存が働いたことが考えられる。Kleinらは糖質・アラニン摂取による運動パフォーマンスの改善には計1時間以上の運動が必要であると考察している²⁵⁾。本研究でも茶カテキン+糖+アミノ酸試行で運動中の血漿グルコース濃度上昇の抑制が認められており、長時間の運動を行った際にグルコース濃度の維持が認められる可能性が考えられる。

先行研究で高濃度茶カテキンの継続摂取は脂質代謝を亢進させることが明らかとなっているが^{26), 27)}、本研究では脂質代謝の亢進は認められなかった。高濃度茶カテキンの継続摂取が脂質代謝を亢進させるためには高濃度茶カテキンの濃度及び摂取期間が重要であると考えられ、山上らは500~600 mg/日程度を14日間以上摂取する必要があると示唆している⁹⁾。また、Robartsらは高濃度茶カテキン継続摂取期間中に運動を併用することで脂質代謝及び全身持久力が向上することを報告している²⁸⁾。Otaらも非アスリートの健康男性を対象に高濃度茶カテキン継続摂取及び運動の併用が有酸素能力を向上させたことを報告している¹⁰⁾。本研究では茶カテキンを540 mg/日、14日間継続摂取させており、さらに週5日以上運動習慣のある者を対象としているため、高濃度茶カテキンの継続摂取が脂質代謝を亢進させるために必要な茶カテキンの濃度、摂取期間及び運動との併用を満たしていたと考えられる。本研究と同様にYo-Yo IE2を用いた山上らの研究⁹⁾とは異なり、本研究で高濃度茶カテキン継続摂取が脂質代謝を亢進しなかった理由として、Yo-Yo IE2の前に糖・アラニン・プロリンを摂取したことが考えられる。脂質代謝は筋グリコーゲン分解率が高い場合に抑制されると報告されている⁶⁾。さらに総脂質酸化量は最大酸素摂取量の70%を超える高強度運動において中強度運動と比較し低値を示すことが明らかとなっている⁶⁾。本研究で用いた全身持久力試験であるYo-Yo IE2は19歳以下のエリートサッカー選手を用いて行った場合、開始5分程度で最高心拍数の90%に達し疲労困憊まで20分程度の短時間高強度運動である¹⁵⁾。これらのことから本研究では糖・アラニン・プロリンを摂取したことによって、山上らの研究と比較し⁹⁾、筋グリコーゲン分解率が依然高い状態で高強度運動を実施したことが推察され、脂質代謝の亢進が認められる前に被験者が疲労困憊に至ったと考えられる。さらに高濃度茶カテキン継続摂取が脂質代謝を亢進しなかった理由として、山上らはYo-Yo IE2当日にも茶カテキン含有飲料を摂取させているが⁹⁾、本研究では

茶カテキン含有飲料をYo-Yo IE2の当日に摂取させていないことが挙げられる。Takahashiらは4週間の茶カテキンの継続摂取（一日あたり615 mg/350 mL）を実施させ、血中茶カテキン濃度の変化を検討した²⁹⁾。この先行研究によると継続摂取における最後の茶カテキン飲料を食事負荷試験前日に摂取した際、継続摂取後の血中茶カテキン濃度は介入前と同程度の血中濃度を示している³⁰⁾。この先行研究の結果より、本研究においても14日間の茶カテキンの継続摂取による血中茶カテキン濃度の残存は考え難いと推測できる。

本研究では高濃度茶カテキン継続摂取及びアラニン・プロリン配合ゼリー飲料単回摂取の併用が先行研究^{5), 8)}と比較し短時間の運動を用いて評価した全身持久力に与える影響を明らかにしたが、これらの併用が長時間の全身持久力に与える影響は明らかではない。本研究の結果及びKleinらの報告から人を対象にした場合、糖質及び糖原性アミノ酸の同時摂取は糖質のみを摂取した場合と比較しインスリン濃度の上昇を抑制し、グルコース濃度の維持に寄与することが明らかとなった²⁴⁾。また、本研究では高濃度茶カテキン継続摂取及びアラニン・プロリン配合ゼリー飲料単回摂取の併用によって脂質代謝の亢進は認められなかったが、先行研究において高濃度茶カテキン継続摂取は長時間運動時の脂質代謝を亢進させることが報告されている^{25), 26)}。長時間運動における運動終盤では、糖質の減少が運動パフォーマンス低下の一要因である¹⁾。従って、本研究で用いた糖質・アラニン・プロリンの同時摂取の糖質温存効果及び高濃度茶カテキン継続摂取による脂質代謝亢進効果を介して、運動終盤への糖代謝の温存に繋がる可能性が考えられる。実際にサッカーのような長時間の間欠的な高強度運動では運動終了時には糖代謝が低下し、脂質代謝が亢進することが報告されている³⁰⁾。このような運動を用いて、高濃度茶カテキン継続摂取及びアラニン・プロリン配合ゼリー飲料単回摂取の併用が長時間の運動時の運動パフォーマンス及び血中代謝関連項目に与える影響を検討することが望まれる。

V 結論

本研究は高濃度茶カテキン継続摂取及びアラニン・プロリン配合ゼリー飲料単回摂取の併用が先行研究^{5), 8)}と比較し短時間の運動を用いて評価した全身持久力に与える影響を検討した。本研究の結果、水を摂取した場合と比較し、高濃度茶カテキン継続摂取及びアラニン・プロリン配合ゼリー飲料単回摂取の併用は全身持久力を向上させることが明らかとなった。また中程度以上の全身持久力保持者を対象にした場合、高濃度茶カテキン継続摂取及びアラニン・プロリン配合ゼリー飲料単回摂取の併用のYo-Yo IE2の成績の向

上効果は、糖質単回摂取より高い可能性が示唆された。

謝辞

本研究は味の素株式会社及び花王株式会社より研究費助成の補助を受けて実施した（研究代表者 宮下政司）。本研究で使用した飲料は花王株式会社、ゼリー飲料は味の素株式会社より提供を受けた。また、データ分析について、味の素株式会社及び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

味の素株式会社及び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) Williams, C., Rollo, I.: Carbohydrate Nutrition and Team Sport Performance, *Sports. Med.*, 45, S13-22 (2015)
- 2) Towlson, C, Midgley, A.W., Lovell, R.: Warm-up strategies of professional soccer players : practitioners' perspectives, *J. Sports. Sci.*, 31, 1393-1401 (2013)
- 3) Ali, A., Williams, C.: Carbohydrate ingestion and soccer skill performance during prolonged intermittent exercise, *J. Sports. Sci.*, 27, 1499-1508 (2009)
- 4) Stearns, R.L., Emmanuel, H., Volek, J.S., et al.: Effects of ingesting protein in combination with carbohydrate during exercise on endurance performance : a systematic review with meta-analysis, *J. Strength. Cond. Res.*, 24, 2192-2202 (2010)
- 5) Nogusa, Y., Mizugaki, A., Hirabayashi-Osada, Y., et al.: Combined supplementation of carbohydrate, alanine, and proline is effective in maintaining blood glucose and increasing endurance performance during long-term exercise in mice, *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, 60, 188-193 (2014)
- 6) Horowitz, J.F., Klein, S.: Lipid metabolism during endurance exercise, *Am. J. Clin. Nutr.*, 72, 558S-563S (2000)
- 7) 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)
- 8) 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)
- 9) 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)
- 10) Ota, N., Soga, S., Shimotoyodome, A.: *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 80 : 2412-2417 (2016) Daily consumption of tea catechins improves aerobic capacity in healthy male adults : a randomized double-blind, placebo-controlled, crossover trial
- 11) 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)
- 12) 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, 61, 63-68 (2012), *Bunseki. Kagaku*.
- 13) 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)
- 14) 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)
- 15) Bradlry, P.S., Mohr, M., Bendiksen, M., et al.: Sub-maximal and maximal Yo-Yo intermittent endurance test level 2 : heart rate response, reproducibility and application to elite soccer, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 111, 969-978 (2011)
- 16) Bradley, P.S., Bendiksen, M., Dellal, A., et al.: The application of the Yo-Yo intermittent endurance level 2 test to elite female soccer populations, *Scand. J. Med. Sci. Sports.*, 24, 43-54 (2014)
- 17) Bangsbo, J., Mohr, M.: Fitness testing in football, (2002) Stormtryk, Roskilde
- 18) Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.G., et al.: A. G*Power 3 : a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences, *Behav. Res. Methods.*, 39, 175-191 (2007)
- 19) Morris, S.B., DeShon, R.P.: Combining effect size estimates in meta-analysis with repeated measures and independent-groups designs, *Psychol. Methods.*, 7, 105-125 (2002)
- 20) Cohen, J.: A power primer, *Psychol. Bull.*, 112, 155-159 (1992)
- 21) Cermak, N.M., van Loon, L.J.: The use of carbohydrates during exercise as an ergogenic aid, *Sports. Med.*, 43, 1139-1155 (2013)
- 22) 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 Limited, 東京都
- 23) Gonzalez, J.T., Fuchs, C.J., Betts, J.A., et al.: Liver glycogen metabolism during and after prolonged endurance-type exercise, *Am. J. Physiol. Endocrinol. Me-*

- tab., 311, E543-553 (2016)
- 24) Wasserman, D.H., Ayala, J.E.: Interaction of physiological mechanisms in control of muscle glucose uptake, *Clin. Exp. Pharmacol. Physiol.*, 32, 319-323 (2005)
- 25) Klein, J., Nyhan, W.L., Kern, M.: The effects of alanine ingestion on metabolic responses to exercise in cyclists, *Amino. Acids.*, 37, 673-680 (2009)
- 26) 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)
- 27) 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)
- 28) Roberts, J.D., Roberts, G.M., Tarpey, M.D., et al.: The effect of a decaffeinated green tea extract formula on fat oxidation, body composition and exercise performance, *J. Int. Soc. Sports. Nutr.*, 12 ; 1 (2015)
- 29) Takahashi, M., Miyashita, M., Suzuki, K., et al.: Acute ingestion of catechin-rich green tea improves postprandial glucose status and increases serum thioredoxin concentrations in postmenopausal women, *Br. J. Nutr.*, 14, 1542-1550 (2014)
- 30) Krustrup, P., Mohr, M., Steensberg, A., et al.: Muscle and blood metabolites during a soccer game : implications for sprint performance, *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 38, 1165-1174 (2006)

(受付日：2017年11月17日)
(採択日：2018年3月2日)

Original Article

The effect of daily intake of tea catechin-rich beverage and acute intake of jelly drink containing alanine and proline on endurance performance

Takuma YANAOKA ^{*1, *2}, Yasufumi FURUHATA ^{*3}, Tomonori KOIZUMI ^{*3}, Naohiko INOUE ^{*3},
Ryuichi MIHARA ^{*4}, Noriyasu OOTA ^{*5}, Yoshihiko MINEGISHI ^{*5}, Atsuko OOTSUKA ^{*5},
Akira SHIMOTOYODOME ^{*5}, Tetsuhiro KIDOKORO ^{*6, *7}, Kyoko KASHIWABARA ^{*1, *2},
Jumpei YAMAGAMI ^{*8}, Masashi MIYASHITA ^{*9}

^{*1} Waseda University, Graduate School of Sport Sciences

^{*2} Research Fellow of Japan Society for the Promotion of Science

^{*3} Institute of Food Sciences & Technologies Ajinomoto Co., Inc

^{*4} R&D Planning Dept. Ajinomoto Co., Inc

^{*5} Kao Corporation, Biological Science Laboratories

^{*6} International Christian University, College of Arts & Science, Department of Health & Physical Education

^{*7} Juntendo University, Institute of Health and Sports Science and Medicine

^{*8} Tokyo Gakugei University, Graduate School of Education

^{*9} Waseda University, Faculty of Sport Sciences

ABSTRACT

[Aim]

This study aimed to examine the effect of daily intake of tea catechin-rich (TCR) beverage and acute intake of jelly drink containing alanine and proline on endurance performance.

[Methods]

Endurance performance was assessed using a randomised, double-blind, crossover, placebo-controlled trial in 22 healthy men. First, the participants drank water (500 mL) and then performed the Yo-Yo Intermittent Endurance Test Level 2 (Yo-Yo IE2; water trial). Thereafter, the participants drank either an active (tea catechins: 540 mg) or placebo beverage (tea catechins: 0 mg) for 14 days. After this period, the participants drank an active (alanine: 9.0 g, proline: 1.0 g and carbohydrate: 82 g) or placebo jelly drink (alanine: 0 g, proline: 0 g and carbohydrate: 92 g) and then performed the Yo-Yo IE2. After the 14-day washout period, the participants switched test drinks and repeated the same protocol.

[Results]

The Yo-Yo IR2 performance was higher in both test drink trials than in the water trial ($p < 0.05$). For the participants who achieved $\geq 2,000$ m of Yo-Yo IE2 performance in the water trial, the Yo-Yo IE2 performance was higher in the active trial than in the water trial ($p < 0.05$). The plasma insulin concentration after the Yo-Yo IE2 was higher in both test drink trials than in the water trial ($p < 0.05$) and tended to be higher in the placebo trial than in the active trial ($p = 0.077$).

[Conclusion]

The present study shows that daily intake of TCR beverage and acute intake of jelly drink containing alanine and proline increased endurance performance.

Keywords: Tea catechin-rich beverage, Alanine, Proline, Carbohydrate and lipid metabolism, Endurance performance