

## 原著

# 高用量の抗酸化成分を複数含有する食品の短期摂取が若年スポーツ競技者における高強度運動後の筋損傷指標および運動能力に及ぼす影響：無作為化二重盲検クロスオーバー比較試験

河村 亜希<sup>\*1,\*2</sup>、橋本 峻<sup>\*3</sup>、中澤 翔<sup>\*4</sup>、杉田 正明<sup>\*3</sup>

<sup>\*1</sup> 金沢大学人間社会研究域、<sup>\*2</sup> 日本学術振興会特別研究員 PD、<sup>\*3</sup> 日本体育大学体育学部、

<sup>\*4</sup> ノースアジア大学経済学部

## 【目的】

筋損傷抑制作用を有するコラーゲンペプチドおよび高用量の抗酸化成分を複数含有した食品の摂取が、高強度運動後の筋損傷指標および運動能力に及ぼす影響について検討した。

## 【方法】

スポーツ競技者男女16名（21.8±0.4歳）を抗酸化条件およびプラセボ条件に無作為に割り付けた。抗酸化条件には、コラーゲンペプチドおよび高用量の抗酸化成分を複数含有した食品を、プラセボ条件には同様の味および形状のプラセボ食品を1日2回、7日間摂取させた。8日目に高強度繰り返し跳躍運動を実施し、筋損傷を誘発させ、運動前、運動直後、3時間後、19時間後において運動能力（垂直跳び跳躍高）および主観的な脚の痛みを測定した。さらに、運動前、運動3時間後、19時間後において血中筋損傷指標（Creatine phosphokinase：CPKなど）を測定した。その後、3週間のウォッシュアウト期間を設けてクロスオーバーさせ、同試験を行った。

## 【結果】

両条件で跳躍運動前と比較し、運動3時間後の跳躍高（cm）が低下し（ $p < 0.01$ ）、筋損傷指標CPK（IU/L）および主観的な脚の痛み（mm）が上昇したが（ $p < 0.01$ ）、いずれの測定項目においても条件間差を認めなかった。

## 【結論】

コラーゲンペプチドと高用量かつ複数の抗酸化成分を短期的に同時摂取することは、高強度運動後の筋損傷指標および運動能力に影響を及ぼさなかった。

キーワード：抗酸化食品 筋損傷 高強度運動 跳躍力

## I 緒言

運動時には、骨格筋を収縮させるために多くのエネルギーが必要となり、この大部分がミトコンドリアによる酸化系エネルギー代謝によって賄われる。酸化系エネルギー代謝の亢進に伴う酸素消費量の増加は、活性酸素種（Reactive Oxygen Species：ROS）の産生量を増やす<sup>1)~3)</sup>。ROSの産生量は、運動強度や持続時間などに依存しており、その量によって生理機能の適応を獲得するためのシグナル因子となるか、炎

症を誘発する障害因子となるかが異なる<sup>4)</sup>。生体内には、内因性抗酸化酵素と外因性抗酸化成分（ビタミン、ポリフェノールなど食事由来成分）からなる抗酸化防御システムが存在しており、生じたROSを効率よく消去している。特にスポーツ競技者においては、高強度運動の繰り返しによるROSへの暴露が大きく、過剰なROSが体内の抗酸化力を上回ることで酸化ストレスが引き起こされ、筋疲労や筋損傷<sup>5)</sup>、あるいは運動能力の低下に繋がるとされている<sup>6), 7)</sup>。したがって、筋損傷を誘発するような高強度運動時には、外因性

連絡先：〒920-1192 石川県金沢市角間町

E-mail：akikawamura@staff.kanazawa-u.ac.jp

抗酸化成分の摂取により抗酸化防御能を高め、酸化ストレスを軽減することが望まれる。

これまで、運動トレーニング時における抗酸化成分の摂取効果には一貫した見解が得られていない<sup>8), 9)</sup>。ヒトを対象とした先行研究においては、高用量ビタミン類（1日1,000 mgのビタミンCなど）の摂取は10週間以上のレジスタンス運動および持久系トレーニングによる適応に影響を与えなかった、あるいは阻害したことが複数報告されている<sup>10)~13)</sup>。これらの結果は、高用量の抗酸化成分の長期摂取により、細胞の適応を刺激するROSが打ち消され、ミトコンドリア生合成やタンパク質合成などのシグナル伝達経路活性化が阻害されたことを示唆している。一方、1日1,000 mg以上のビタミンCを2週間程度ヒトに摂取させた際には、筋損傷および単回運動により誘発される酸化ストレスや炎症に影響を与えない、または軽減されたことが報告されている<sup>14)~16)</sup>。また、抗酸化食品成分の少量・混合摂取を実施している先行研究では、各成分を単一高用量摂取した場合よりもタンパク質合成を促したことや<sup>17)</sup>、トレーニング期における運動能力を高めたことが示唆されている<sup>18)</sup>。以上より、運動と併用した際の抗酸化成分の摂取効果は、摂取量、摂取期間、成分の種類および組み合わせなどに依存しており、長期的な単一・高用量の摂取は運動による適応を抑制する可能性が高いが、短期的に複数成分を組み合わせる摂取した場合においては、骨格筋の適応や運動能力に有益となる可能性がある<sup>14), 15), 19)</sup>。しかし、高用量の抗酸化成分を複数組み合わせる短期間摂取させた際の、運動能力への効果は明らかではない。スポーツ現場においては、より短期間での骨格筋機能の回復や筋損傷の抑制が要求されることから、スポーツ競技者の運動能力を補助できる抗酸化成分の短期的な利用法についての検討が必要である。

また近年、骨格筋損傷抑制に対する有効成分としてコラーゲンペプチドの効果が複数報告されている。コラーゲンペプチドは、コラーゲンを加熱変性させたゼラチン（変性コラーゲン）を加水分解して低分子化させた可溶性のペプチドである。コラーゲンを含有する主な食品として、鶏皮、牛すじ、ふかひれ、魚の皮などが知られている。Cliffordら<sup>20)</sup>は、運動習慣者を対象とし、7日間のコラーゲンペプチドを摂取させたところ、筋損傷運動後の筋損傷指標の軽減および跳躍力（カウンタームーブメントジャンプの跳躍高）の低下抑制作用を有したことを報告している。また、コラーゲンペプチドの摂取は、若年健常成人においてレジスタンス運動トレーニングによる体重、除脂肪量および筋力の増加を促したこと<sup>21)</sup>、サルコペニアを伴う高齢男性において除脂肪量および大腿四頭筋筋力の増加を促したことが報告されている<sup>22)</sup>。これらの研究結果より、コラーゲンペプチドの摂取は筋損傷抑制作用を有

し、骨格筋の量や機能を高めることで運動能力の維持に有用と考えられる。そこで本研究は、コラーゲンペプチドに高用量の抗酸化ビタミン類（ビタミンC 1,000 mg、ビタミンE 40 mgなど）、その他抗酸化成分（コエンザイムQ10 30 mgなど）および内因性抗酸化酵素の構成成分（亜鉛 24 mg、セレン100  $\mu$ gなど）約20種類を配合した食品の短期摂取が、高強度運動後の筋損傷および運動能力に有益であるかを検討した。

## II 方法

### 1. 対象者

本研究は、大学のクラブに所属するスポーツ競技者である男性10名（年齢：21.7 $\pm$ 0.5歳、身長：174.5 $\pm$ 7.1 cm、体重：75.6 $\pm$ 14.6 kg）および女性6名（年齢：22.0 $\pm$ 0.0歳、身長：159.4 $\pm$ 4.3 cm、体重：55.8 $\pm$ 5.3 kg）の計16名を対象とした。研究の実施にあたっては、ヘルシンキ宣言に基づく倫理的原則および文部科学省・厚生労働省「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」を遵守し、日本体育大学倫理委員会（承認番号：第018-H125号）の承諾を得て実施した。研究開始にあたり、対象者に口頭および書面にて研究の目的、方法、健康被害、危険性、プライバシーの保護およびデータの管理や公表について説明し、同意を得た。全対象者が非喫煙者であり、介入期間中のサプリメント、滋養強壮剤、漢方製剤、総合感冒薬などの薬物の使用は控えさせた。身体組成は生体電気インピーダンス分析法（InBody730, InBody Co., Ltd., ソウル、韓国）により測定した。

### 2. 研究デザイン

本研究は、抗酸化およびプラセボ食品摂取の2条件による、無作為化二重盲検クロスオーバー比較試験により実施した。先行研究<sup>20)</sup>を参照し、全対象者を抗酸化およびプラセボ条件に無作為に割り付け、抗酸化食品あるいはプラセボ食品を1日2回、7日間摂取させ、8日目の試験日において運動を負荷した。運動前、運動直後、3時間後、19時間後において、跳躍テスト（垂直跳び）およびvisual analogue scale (VAS) 法による主観的な脚の痛みを測定し、運動前、運動3時間後、19時間後において血中筋損傷指標を測定した。その後、3週間のウォッシュアウト期間を設けてクロスオーバーさせ、同じ試験を行った。対象者は、食品介入中の7日間および試験当日にかけて飲酒を控え、実験室来室の2時間前までに飲食を終わらせた。両条件において、7日間の介入期間および試験日の食事内容と喫食時間、生活習慣などが大きく異なるよう指示した。両条件ともに試験当日は、対象者は実験室来室後、20分間の安静状態を維持し、体組成分析および主観的な体調の評価を行った。

### 3. 試験食品摂取および栄養素摂取量

抗酸化条件においては、抗酸化成分添加食品（飲料）（表1）を朝食および夕食後に各1回、1日2回、7日間摂取させた。また、8日目の試験日においては、運動の60分前に1本を摂取させ、夕食後（運動後）にも1本摂取させた。運動19時間後の9日目においては、朝食後に1本摂取させた。抗酸化成分添加食品は、タンパク質（コラーゲンペプチド）10gの他、12種類のビタミン類、4種類のミネラル類、コエンザイムQ10などの抗酸化成分を複数含有しており、代表的な抗酸化ビタミンであるビタミンCおよびビタミンEの含有量は「日本人の食事摂取基準（2020年版）」の推奨量あるいは目安量の6～10倍となる量とした。プラセボ条件においては、コラーゲンペプチド、抗酸化成分を含有せず、抗酸化成分添加食品と同様の形状、味、エネルギー量のプラセボ食品（飲料）を提供し、抗酸化条件と同様の摂取タイミングおよび回数にて摂取させた。なお、いずれの食品もオレンジ風味であり、コラーゲンペプチド独特の風味は感じさせなかった。

また、両条件の試験日直前の3日間において、食事画像診断ソフト（栄養支援システムCalorie Smile：株式会社クエスト・コンピュータ）を用いた24時間食事調査を実施し、栄養摂取状況を調査した。さらに、試験前日の夕食、試験当日の朝昼夕食、試験翌日の朝食の計5食においては全対象者に同一の試験食を提供した。

### 4. 運動負荷試験

Cliffordら<sup>20)</sup>の方法を参考に、60 cm台からドロップジャンプを100回連続行う高強度繰り返し跳躍運動を負荷し、筋損傷を誘発した。各ジャンプの間隔は10秒とし、25回を4セット行った。各セット間には2分間の休憩をとった。ジャンプ時においては、両足接地直後に最大努力によるジャンプを1回行った。

### 5. 跳躍力

跳躍力（運動能力）を評価するために、高強度繰り返し跳躍運動前、運動直後、3時間後、および19時間後において、垂直跳びを3回実施し、跳躍高（cm）を運動能力評価システム（MultiJumpTester II、株式会社Q'sfix、東京、日本）により測定し、その最高値を用いた。

### 6. 筋損傷指標

筋損傷指標として、血漿中のクレアチンホスホキナーゼ（Creatine phosphokinase：CPK）、乳酸脱水素酵素（Lactate dehydrogenase：LDH）、総ビリルビン（Total bilirubins：T-Bil）を測定した。高強度繰り返し跳躍運動前、3時間後、および19時間後において、採血用穿刺器具（セーフティプロプラス、ロ

表1 抗酸化成分添加食品に含有される栄養成分（1本あたり）

エネルギー (kcal)	80
たんぱく質 (g)	12.0
脂質 (g)	0
炭水化物 (g)	8.0
カリウム (mg)	26
カルシウム (mg)	75
マグネシウム (mg)	1.6
リン (mg)	4
鉄 (mg)	5.0
亜鉛 (mg)	12
セレン (mg)	50
ビタミン A (μgREA)	300
ビタミン B1 (mg)	3.0
ビタミン B2 (mg)	3.0
ビタミン B6 (mg)	5.0
ビタミン B12 (mg)	10.0
ナイアシン (mgNE)	15
葉酸 (μg)	550
ビオチン (μg)	50
パントテン酸 (mg)	10
ビタミン C (mg)	500
ビタミン E (mg)	20
食塩相当量 (g)	0.11
コエンザイム Q10 (mg)	15
コラーゲンペプチド (g)	10

シュ・ダイアグノスティックス株式会社、東京、日本）およびヘパリン処置された採血管（Microvette、SARSTEDT AG & Co. KG、Nümbrecht、Germany）を用いて、指先部より微量の血液を採取した。その直後に遠心分離し（6,600 rpm、室温（21.9℃）、2分）、血漿を得た。抽出した血漿を用いて、乾式臨床化学分析装置（スポットケム EZ SP-4430、アークレイ株式会社、京都、日本）により各筋損傷指標を測定した。

### 7. 主観的コンディション

VAS法を用いて、高強度繰り返し跳躍運動前、運動直後、3時間後、および19時間後における、体調の良さおよび脚の痛みを測定した。対象者には、100 mmの水平線上に主観的な体調の良さおよび脚の痛み

を示すよう指示した。水平線の左側（0 mm）は「体調が良くない」「強い痛みがある」、右側（100 mm）は「体調が良い」「全く痛みがない」とした。

## 8. 統計解析

全てのデータは、平均値±標準偏差で示した。プラセボおよび抗酸化の2条件間の比較については、対応のある *t* 検定または、時間と条件の2要因による二元配置分散分析（ANOVA）を行った。正規性が認められなかったデータについては、Wilcoxonの符号付順位和検定、Mann-WhitneyのU検定、Friedman検定を行った。なお、Friedman検定結果に有意差が認められた場合、Bonferroni法による多重比較検定を行った。データ解析には、統計ソフトSPSS Statistics ver.25（日本アイ・ピー・エム株式会社、東京）を用い、統計的な有意水準は5%未満とした。

## Ⅲ 結果

### 1. 介入前の調査

抗酸化およびプラセボ条件における試験当日の体重（kg）、体格指数（body mass index: BMI）、体脂肪（%）に条件間差は見られなかった（表2）。また、運動時の平均気温（℃）（プラセボ：23.7±1.0、抗酸化：23.6±0.8）および湿度（%）（プラセボ：36.1±5.8、抗酸化：36.8±5.6）にも条件間差はなかった。

### 2. 跳躍力

抗酸化条件においては、繰り返し跳躍運動前と比較し、運動直後の垂直跳び跳躍高（cm）およびその変化率が増加したが（ $p < 0.01$ ）、3時間後および19時間後には低下した（ $p < 0.01$ または0.05）。一方、プラセボ条件では、運動前と比較し、運動直後の垂直跳び跳躍高（cm）およびその変化率が増加し（ $p < 0.01$ ）、3時間後には低下したが（ $p < 0.01$ ）、19時間後に変化はなかった。なお、各測定時間における垂直跳び跳躍高（cm）およびその変化率に条件間差および交互作用はなかった（図1）。

### 3. 筋損傷指標

繰り返し跳躍運動前と比較した3時間後のCPK（IU/L）およびその変化率は、抗酸化条件において上昇し（ $p < 0.01$ ）、プラセボ条件においては上昇傾向が見られた（ $p < 0.1$ ）。繰り返し跳躍運動前と比較した19時間後のCPK（IU/L）およびその変化率については、両条件において上昇した（ $p < 0.01$ ）。なお、いずれの測定時間においてもCPK（IU/L）およびその変化率に条件間差は認められなかった。また、LDH（IU/L）、T-Bil（mg/dL）の推移およびその変化率は、跳躍運動前と比較し、3時間後および19時間後におい

て変化がなく、条件間差も認められなかった（図2）。

## 4. 主観的コンディション

体調の良さ（mm）は、両条件において、繰り返し跳躍運動前（プラセボ：75.3±19.6、抗酸化：77.4±15.5）、運動直後（プラセボ：64.2±25.7、抗酸化：65.9±27.7）、3時間後（プラセボ：70.9±19.0、抗酸化：70.9±23.6）、19時間後（プラセボ：67.8±22.5、抗酸化：67.8±27.3）において変化はなく、条件間差もなかった。また、主観的な脚の痛み（mm）およびその変化率は、両条件において、繰り返し跳躍運動前と比較し、運動直後、3時間後、19時間後に低下し（ $p < 0.01$ ）、運動に誘発されて痛みの程度が大きくなったが、条件間差はなかった（図3）。

## 5. 栄養素摂取量

抗酸化およびプラセボ条件における1日のエネルギーおよび栄養素摂取量の比較（抗酸化成分添加食品およびプラセボ食品分を除く）を表3に示した。両条件におけるエネルギーおよび全ての栄養素摂取量に条件間差はなかった。

## Ⅳ 考察

コラーゲンペプチドおよび高用量の抗酸化成分を複数含有した抗酸化食品の短期摂取は、高強度運動後の筋損傷指標、主観的な脚の痛み、さらには運動能力に影響を与えなかった。

長期的な抗酸化成分の単一かつ高用量の摂取は、骨格筋代謝や内因性抗酸化酵素などに対する運動による有益な効果を阻害することが報告されているが<sup>12), 23), 24)</sup>、本研究における抗酸化成分添加食品の短期摂取は、運動後の骨格筋機能の回復や筋損傷の抑制を妨げなかった。一方、Cliffordら<sup>20)</sup>の研究においては、7日間のコラーゲンペプチドの単一摂取が、筋損傷抑制や跳躍力の維持に有益であったと報告されているが、本研究においてそれらの作用は認められなかった。したがって、高用量の抗酸化成分を複数組み合わせることで短期間摂取することは、コラーゲンペプチド摂取によるタンパク質合成作用を補助しない可能性が考えられる。

先行研究では、タンパク質合成作用を有する抗酸化成分の少量・混合摂取は、各成分を単一・高用量摂取させた場合よりも骨格筋のタンパク質合成を促進することが筋萎縮-回復モデルマウス（ギプス固定により筋萎縮を誘発後、ギプス解除し筋回復・肥大を促したモデル）において報告されており<sup>17)</sup>、複数の成分が少量ずつ含有される食品による抗酸化成分の摂取効果が期待される。実際、抗酸化食品の効果を検討したヒト実験では、10週間のトレーニング期間における摂取が

表2 対象者の身体的特徴

対象者 ID	年齢 (歳)	性別	身長 (cm)	体重 (kg)		BMI (kg/m <sup>2</sup> )		体脂肪率 (%)	
				プラセボ	抗酸化	プラセボ	抗酸化	プラセボ	抗酸化
a	22	男性	169	65.7	65.6	22.9	23.0	13.3	11.6
b	22	男性	165	65.8	66.2	24.2	24.3	22.0	23.0
c	21	男性	174	60.7	60.3	20.0	19.9	11.0	11.2
d	21	男性	180	65.4	63.1	20.2	19.5	13.3	12.2
e	22	男性	171	102.5	101.3	35.1	34.6	30.8	29.6
f	22	男性	181	84.6	84.6	25.8	25.8	17.6	15.7
g	22	男性	174	75.5	75.4	24.9	24.9	22.2	21.9
h	22	男性	187	89.2	90.9	25.5	26.0	11.1	13.1
i	21	男性	164	63.8	63.4	23.7	23.6	14.7	13.9
j	22	男性	180	86.2	85.5	26.6	26.4	20.9	20.8
k	22	女性	168	61.0	59.6	21.6	21.1	19.9	20.7
l	22	女性	156.5	50.0	50.0	20.4	20.4	21.5	22.0
m	22	女性	155	47.4	47.9	19.7	20.0	31.6	32.6
n	22	女性	161	63.3	64.4	24.4	24.8	29.9	31.3
o	22	女性	159	57.8	57.2	22.9	22.6	18.5	16.1
p	22	女性	157	56.0	55.9	22.7	22.7	22.2	21.0
平均値	21.8		168.8	68.4	68.2	23.8	23.7	20.0	19.8
S.D.	0.4		9.6	14.7	14.7	3.6	3.6	6.4	6.7

BMI; body mass index (体格指数)

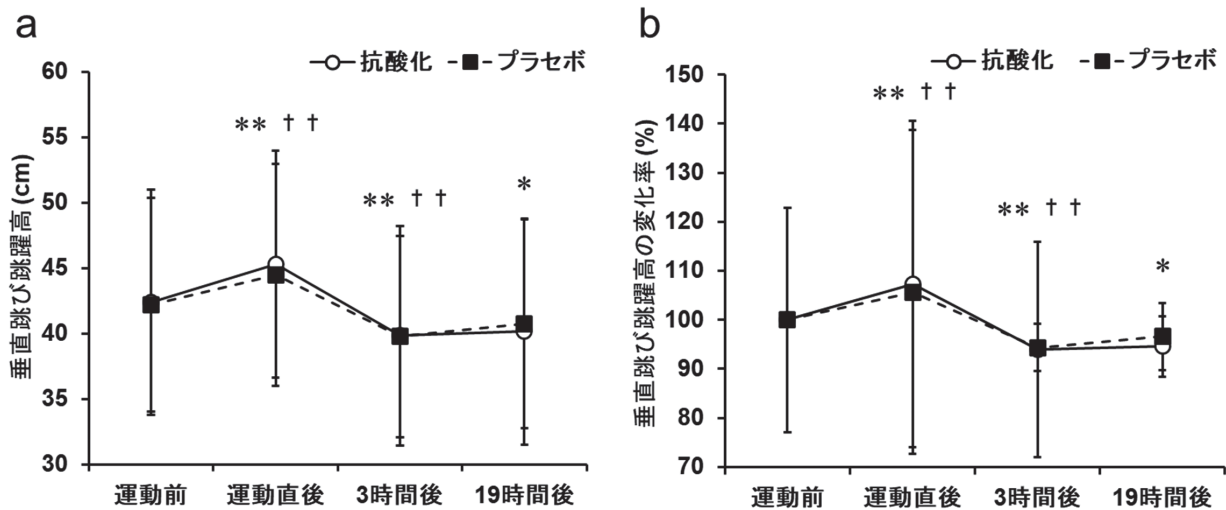


図1 運動前、運動直後、3時間後および19時間後における跳躍高の推移

垂直跳び跳躍高 (a) およびその変化率 (b)。mean ± SD, n= 16。\* $p < 0.05$  vs 運動前 (抗酸化)、\*\* $p < 0.01$  vs 運動前 (抗酸化)、† $p < 0.01$  vs 運動前 (プラセボ)。bの数値 (%) は運動前を基準とした相対値を示した。

筋力およびエネルギー代謝を高めたこと<sup>18)</sup>、7~10日程度の短期摂取が運動能力および運動後の筋損傷抑制に有効であったことが報告されている<sup>20), 25), 26)</sup>。これらの結果は、複数成分の摂取による相互作用が得られ

たと同時に<sup>27), 28)</sup>、抗酸化成分の高用量摂取によるタンパク質代謝抑制が回避された結果であると考えられる。一方、本研究においては、各成分を高用量ずつ摂取させたことによる過剰な抗酸化作用が、複数成分の

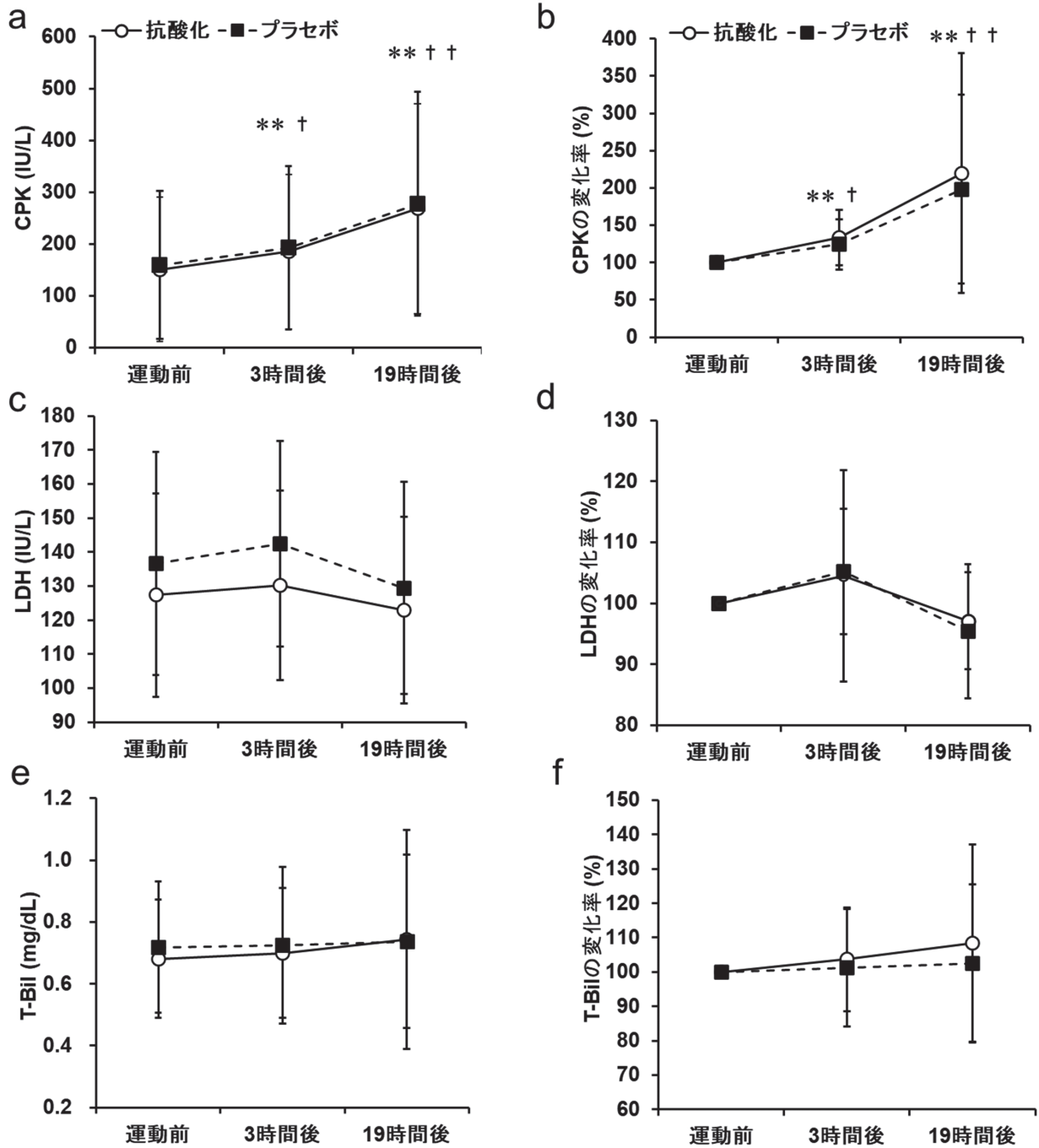


図2 運動前、3時間後、19時間後における血液中筋損傷指標の推移

CPK: Creatine phosphokinase (クレアチンホスホキナーゼ) (a)、LDH: Lactate dehydrogenase (乳酸脱水素酵素) (c)、T-Bil: Total bilirubins (総ビリルビン) (e) の推移、およびその変化量 (b)、(d)、(f)。mean ± SD, n= 16。\*\* $p < 0.01$  vs 運動前 (抗酸化)、† $p < 0.1$  vs 運動前 (プラセボ)、†† $p < 0.01$  vs 運動前 (プラセボ)。b、d、fの数値 (%) は運動前を基準とした相対値を示した。

相互作用によりもたらされる作用を上回った可能性が考えられる。

高強度運動時にはROSの産生量が高まることで、骨格筋内で炎症を誘発する障害因子が誘発される<sup>29)</sup>。そ

のため、産生された過剰なROSを軽減し、骨格筋代謝能を保持するためのアプローチとして、運動トレーニング時や骨格筋萎縮時における抗酸化成分摂取の有効性が検討されてきた。特に、代表的な抗酸化成分であ

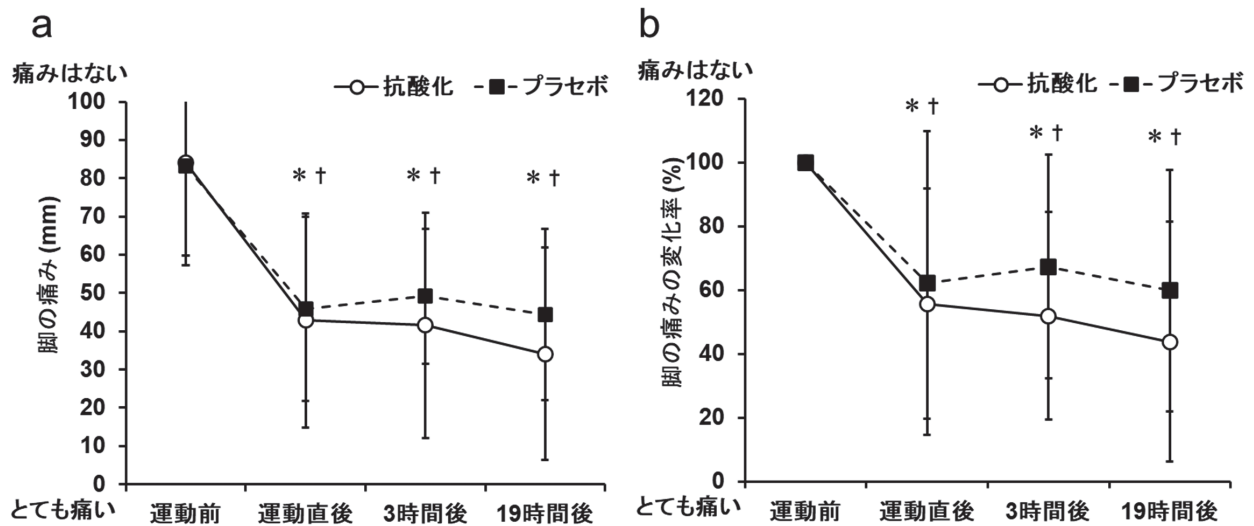


図3 運動前、運動直後、3時間後、19時間後における主観的な脚の痛みの推移

脚の痛み (a) およびその変化量 (b)。mean ± SD, n = 16。\**p* < 0.01 運動前 (抗酸化)、†*p* < 0.01 vs 運動前 (プラセボ)。bの数値 (%) は運動前を基準とした相対値を示した。

表3 各条件におけるエネルギーおよび栄養素摂取量の比較

	抗酸化	プラセボ
エネルギー (kcal/d)	2,037 ± 308	1,897 ± 215
たんぱく質 (g/d)	90.2 ± 29.3	71.8 ± 8.9
脂質 (g/d)	73.4 ± 13.0	67.9 ± 5.6
炭水化物 (g/d)	239.4 ± 29.5	237.3 ± 35.3
食物繊維 (g/d)	14.8 ± 3.3	15.9 ± 2.1
カリウム (mg/d)	1,919 ± 558	1,809 ± 208
カルシウム (mg/d)	328 ± 62	327 ± 67
マグネシウム (mg/d)	197 ± 49	196 ± 32
鉄 (mg/d)	7.9 ± 3.0	6.6 ± 1.0
亜鉛 (mg/d)	9.1 ± 2.6	8.1 ± 1.2
ビタミン A (μg/d)	341 ± 62	373 ± 64
ビタミン D (μg/d)	7.9 ± 1.4	8.2 ± 3.8
ビタミン E (mg/d)	7.7 ± 1.2	7.8 ± 1.3
ビタミン B1 (mg/d)	1.1 ± 0.2	0.9 ± 0.2
ビタミン B2 (mg/d)	1.1 ± 0.2	1.0 ± 0.1
ビタミン B6 (mg/d)	1.2 ± 0.3	1.2 ± 0.1
ビタミン C (mg/d)	42 ± 11	63 ± 13
食塩相当量 (g/d)	8.6 ± 1.3	8.6 ± 1.1

mean ± SD

るビタミンCやビタミンEについての研究が多く、これら成分を運動前に摂取すると運動後の酸化ストレス指標や筋損傷指標の上昇が抑制されたと報告されている<sup>14)~16)</sup>。一方、ビタミンCやビタミンEなどの抗酸化

成分の摂取は、筋損傷抑制<sup>30)</sup>や運動能力<sup>11), 31), 32)</sup>に対する効果が得られなかったこと、さらには高用量の摂取によりトレーニング効果が損なわれたこと<sup>10), 12), 13)</sup>も報告され、議論が分かれている。このように、抗酸

化成分の摂取効果は、摂取方法（量、期間、タイミング、成分の種類や組み合わせなど）や対象者の特性などに影響を受けることが多くの研究により示唆されており、本研究結果もそれを支持している。スポーツ現場においては、運動による筋損傷や筋疲労を軽減する目的でたんぱく質含有食品やプロテインが利用されている。また、運動による筋疲労を素早く回復させることを目的として、たんぱく質とビタミン類などの抗酸化サプリメントの両方を摂取する場合も多い。そのため、たんぱく質含有食品と抗酸化成分を併用する際の抗酸化成分の適切な摂取方法について明らかにし、有効な摂取方法を確立する必要がある。

本研究では対象者の負担軽減を考慮し、介入中の全期間における食事調査を実施しなかった。3日間の食事調査により各条件の栄養素摂取量に差がないことを確認した上で、試験前日の夕食、試験当日の朝昼夕食、試験翌日の朝食の計5食の試験食を提供したものの、エネルギーおよび各栄養素が不足している傾向が見られた。一般的に、スポーツ競技者は健常者よりも身体活動量が高いため、エネルギー産生栄養素などが高く設定されるが<sup>33)</sup>、抗酸化およびプラセボ条件のいずれにおいても、スポーツ競技者のガイドライン<sup>34)~36)</sup>で示された1日の推奨量と比較して、炭水化物が165 g程度、たんぱく質が5~23 g程度不足していた。これらの栄養素不足はエネルギー摂取量不足を招き、運動筋損傷後の回復を遅延させ、骨格筋の適応に不利益となった可能性がある<sup>37)</sup>。今後、介入期間全体を通じた食事管理を行い、対象者のエネルギー産生栄養素を充足させた上で、抗酸化成分の摂取効果を改めて検討する必要がある。

## V 結論

コラーゲンペプチドおよび高用量の抗酸化成分を複数含有した食品の短期摂取は、スポーツ競技者における筋損傷後の回復に影響を与えなかった。この結果は、高用量の抗酸化成分の混合摂取は、短期間の場合、コラーゲンペプチド摂取によるたんぱく質合成作用を補助せず、骨格筋適応に影響を及ぼさない可能性を示している。身体への負担が高まるスポーツ競技者のトレーニング期においては、食事により骨格筋機能の回復や筋損傷の抑制を促すことが重要である。そのため、トレーニング後の回復を補助できるたんぱく質含有食品と抗酸化成分の組み合わせや成分の摂取量などについて、今後さらなる検討が必要である。

## 謝辞

本研究の実施にご協力いただきました日本体育大学

の学生およびスタッフの皆様、試験食品をご提供いただきましたニュートリー株式会社様に深く感謝申し上げます。

## 利益相反

著者杉田正明は、ニュートリー株式会社から奨学寄附金ならびに試験食品の提供を受けた。ただし、本論文の構成やデータの取得および解釈には当該企業の関与は一切ない。

## 著者貢献

研究の構想・デザイン M.S., A.K., データの取得 M.S., A.K., S.H., S.N., データの検証・分析 A.K., S.H., S.N., 研究への介入 M.S., A.K., S.H., S.N., 原稿執筆 A.K.; 原稿の編集 M.S., A.K., 実験の管理・監督 M.S., 研究費獲得 M.S. すべての著者は出版原稿の最終版を確認し、投稿を承認した。

## 文献

- 1) Matsunaga, S., Inashima, S., Yamada, T., et al.: Oxidation of sarcoplasmic reticulum Ca(2+)-ATPase induced by high-intensity exercise, *Pflugers. Arch.*, 446, 394-399 (2003)
- 2) Groussard, C., Rannou-Bekono, F., Machefer, G., et al.: Changes in blood lipid peroxidation markers and antioxidants after a single sprint anaerobic exercise, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 89, 4-20 (2003)
- 3) Hübner-Woźniak, E., Lutosławska, G., Panczenko-Kresowska, B., et al.: The effect of oxygen uptake at anaerobic threshold on resting plasma concentrations of reduced glutathione and thiobarbituric acid reactive substances (TBARS), and on the antioxidant enzyme activities in blood, *Biol. Sport.*, 22, 151-161 (2005)
- 4) Scheffer, D.L., Silva, L.A., Tromm, C.B., et al.: Impact of different resistance training protocols on muscular oxidative stress parameters, *Appl. Physiol. Nutr. Metab.*, 37, 1239-1246 (2012)
- 5) Aoi, W., Naito, Y., Takanami, Y., et al.: Oxidative stress and delayed-onset muscle damage after exercise, *Free. Radic. Biol. Med.*, 37, 480-487 (2004)
- 6) Reid, M.B.: Redox interventions to increase exercise performance, *J. Physiol.*, 594, 5125-5133 (2016)
- 7) Fatouros, I.G., Chatziz Nikolaou, A., Douroudos, I.I., et al.: Time-course of changes in oxidative stress and antioxidant status responses following a soccer game, *J. Strength. Cond. Res.*, 24, 3278-3286 (2010)
- 8) Mason, S.A., Trewin, A.J., Parker, L., et al.: Antioxidant supplements and endurance exercise: Current



- evidence and mechanistic insights, *Redox. Biol.*, 35, 101471 (2020)
- 9) Higgins, M.R., Izadi, A., Kaviani, M.: Antioxidants and Exercise Performance: With a Focus on Vitamin E and C Supplementation, *Int. J. Env. Res. Public. Heal.*, 17, 22, 8452 (2020)
  - 10) Paulsen, G., Hamarsland, H., Cumming, K.T., et al.: Vitamin C and E supplementation alters protein signaling after a strength training session, but not muscle growth during 10 weeks of training, *J. Physiol.*, 592, 5391-5408 (2014)
  - 11) Theodorou, A.A., Nikolaidis, M.G., Paschalis, V., et al.: No effect of antioxidant supplementation on muscle performance and blood redox status adaptations to eccentric training, *Am. J. Clin. Nutr.*, 93, 1373-1383 (2011)
  - 12) Paulsen, G., Cumming, K.T., Holden, G., et al.: Vitamin C and E supplementation hampers cellular adaptation to endurance training in humans: a double-blind, randomised, controlled trial, *J. Physiol.*, 592, 1887-1901 (2014)
  - 13) Gomez-Cabrera, M.C., Domenech, E., Romagnoli, M., et al.: Oral administration of vitamin C decreases muscle mitochondrial biogenesis and hampers training-induced adaptations in endurance performance, *Am. J. Clin. Nutr.*, 87, 142-149 (2008)
  - 14) Bryer, S.C., Goldfarb, A.H.: Effect of high dose vitamin C supplementation on muscle soreness, damage, function, and oxidative stress to eccentric exercise, *Int. J. Sport. Nutr. Exerc. Metab.*, 16, 270-280 (2006)
  - 15) He, F., Hockemeyer, J.A.K., Sedlock, D.: Does combined antioxidant vitamin supplementation blunt repeated bout effect?, *Int. J. Sports. Med.*, 36, 407-413 (2015)
  - 16) Righi, N.C., Schuch, F.B., De Nardi, A.T., et al.: Effects of vitamin C on oxidative stress, inflammation, muscle soreness, and strength following acute exercise: meta-analyses of randomized clinical trials, *Eur. J. Nutr.*, 59, 2827-2839 (2020)
  - 17) Kawamura, A., Aoi, W., Abe, R., et al.: Combined intake of astaxanthin, beta-carotene, and resveratrol elevates protein synthesis during muscle hypertrophy in mice, *Nutrition.*, 69, 110561 (2020)
  - 18) Kawamura, A., Aoi, W., Abe, R., et al.: Astaxanthin,  $\beta$ -Carotene-, and Resveratrol-Rich Foods Support Resistance Training-Induced Adaptation, *Antioxidants.*, 10, 113 (2021)
  - 19) Righi, N.C., Schuch, F.B., De Nardi, A.T., et al.: Effects of vitamin C on oxidative stress, inflammation, muscle soreness, and strength following acute exercise: meta-analyses of randomized clinical trials, *Eur. J. Nutr.*, 59, 2827-2839 (2020)
  - 20) Clifford, T., Ventress, M., Allerton, D.M., et al.: The effects of collagen peptides on muscle damage, inflammation and bone turnover following exercise: a randomized, controlled trial, *Amino. Acids.*, 51, 691-704 (2019)
  - 21) Oertzen-Hagemann, V., Kirmse, M., Eggers, B., et al.: Effects of 12 weeks of hypertrophy resistance exercise training combined with collagen peptide supplementation on the skeletal muscle proteome in recreationally active men, *Nutrients.*, 11, 1072 (2019)
  - 22) Zdzieblik, D., Oesser, S., Baumstark, M.W., et al.: Collagen peptide supplementation in combination with resistance training improves body composition and increases muscle strength in elderly sarcopenic men: A randomised controlled trial, *Br. J. Nutr.*, 114, 1237-1245 (2015)
  - 23) Ristow, M., Zarse, K., Oberbach, A., et al.: Antioxidants prevent health-promoting effects of physical exercise in humans, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 106, 8665-8670 (2009)
  - 24) Gomez-Cabrera, M.C., Domenech, E., Romagnoli, M., et al.: Oral administration of vitamin C decreases muscle mitochondrial biogenesis and hampers training-induced adaptations in endurance performance, *Am. J. Clin. Nutr.*, 87, 142-149 (2008)
  - 25) Bell, P.G., Stevenson, E., Davison, G.W., et al.: The Effects of Montmorency Tart Cherry Concentrate Supplementation on Recovery Following Prolonged, Intermittent Exercise, *Nutrients.*, 8, 441 (2016)
  - 26) Bowtell, J.L., Sumners, D.P., Dyer, A., et al.: Montmorency cherry juice reduces muscle damage caused by intensive strength exercise, *Med. Sci. Sport. Exerc.*, 43, 1544-1551 (2011)
  - 27) Nakano, M., Onodera, A., Naito, E., et al.: Effect of astaxanthin in combination with  $\alpha$ -tocopherol or ascorbic acid against oxidative damage in diabetic ODS rats, *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, 54, 329-334 (2008)
  - 28) Niki, E., Saito, T., Kawakami, A., et al.: Inhibition of oxidation of methyl linoleate in solution by vitamin E and vitamin C, *J. Biol. Chem.*, 259, 4177-4182 (1984)
  - 29) Di Meo, S., Napolitano, G., Venditti, P.: Mediators of Physical Activity Protection against ROS-Linked Skeletal Muscle Damage, *Int. J. Mol. Sci.*, 20, 3024 (2019)
  - 30) Torre, M.F., Martinez-Ferran, M., Vallecillo, N., et al.: Supplementation with Vitamins C and E and Exercise-Induced Delayed-Onset Muscle Soreness: A Systematic Review, *Antioxidants.*, 10, 279 (2021)
  - 31) Yfanti, C., Akerstrom, T., Nielsen, S., et al.: Antioxidant supplementation does not alter endurance training adaptation, *Med. Sci. Sport. Exerc.*, 42, 1388-1395

- (2010)
- 32) Higgins, M.R., Izadi, A., Kaviani, M.: Antioxidants and Exercise Performance: With a Focus on Vitamin E and C Supplementation, *Int. J. Environ. Res. Public Health.*, 17, 8452 (2020)
- 33) Maughan, R.J., Burke, L.M., Dvorak, J., et al.: IOC consensus statement: dietary supplements and the high-performance athlete, *Br. J. Sport. Med.*, 52, 439-455 (2018)
- 34) Burke, L.M., Hawley, J.A., Wong, S.H., et al.: Carbohydrates for training and competition, *J. Sport. Sci.*, 29, Suppl 1, S17-27 (2011)
- 35) Jäger, R., Kerksick, C.M., Campbell, B.I., et al.: International Society of Sports Nutrition Position Stand: Protein and exercise, *J. Int. Soc. Sports. Nutr.*, 14, 1-25 (2017)
- 36) American College of Sports Medicine Joint Position Statement: Nutrition and athletic performance, *Med. Sci. Sport. Exerc.*, 48, 543-568 (2016)
- 37) Saunders, M.J., Moore, R.W., Kies, A.K., et al.: Carbohydrate and protein hydrolysate coingestions improvement of late-exercise time-trial performance, *Int. J. Sport. Nutr. Exerc. Metab.*, 19, 136-149 (2009)

(受付日：2023年5月16日)  
(採択日：2023年8月25日)

Original Article

# Effects of a short-term multiple high-dose antioxidant dietary intervention on muscle damage indices and exercise capacity after high-intensity exercise in young athletes: a randomized, double-blind, crossover-controlled trial

Aki KAWAMURA <sup>\*1, \*2</sup>, Shun HASHIMOTO <sup>\*3</sup>, Sho NAKAZAWA <sup>\*4</sup>, Masaaki SUGITA <sup>\*3</sup>

<sup>\*1</sup> Institute of Human and Social Sciences, Kanazawa University

<sup>\*2</sup> Research Fellow of Japan Society for the Promotion of Science

<sup>\*3</sup> Faculty of Sport Science, Nippon Sport Science University

<sup>\*4</sup> Faculty of Economics, North Asia University

---

## ABSTRACT

### **【Aim】**

This study was conducted to investigate the interventional effects of collagen peptide, which can potentially attenuate muscle damage, and high-dose multi-antioxidant supplementation on muscle-damage indices and exercise capacity after high-intensity exercise.

### **【Methods】**

Sixteen male and female athletes ( $21.8 \pm 0.4$  years old) were randomly assigned to the antioxidant and placebo arms. On Day 8, the participants performed high-intensity repetitive jumping exercise (100 jumps) to induce muscle damage. Using a visual analog scale (VAS), exercise capacity (vertical jump height) and subjective leg pain were measured before, immediately after, and 3 and 19 hours after exercise. Blood indices of muscle damage (e.g., creatine phosphokinase [CPK]) were measured before exercise and 3 and 19 hours after exercise. After a crossover 3-week washout period, the same test was repeated.

### **【Results】**

In both arms, compared to before high-intensity repetitive jumping exercise, the vertical jump height (cm) significantly decreased ( $p < 0.01$ ), and the muscle damage index (CPK, IU/L) and subjective leg pain (mm) significantly increased ( $p < 0.01$ ) after 3 hours of exercise. There was no difference in these measurements between the two study arms.

### **【Conclusion】**

Short-term, collagen peptide and high-dose multi-antioxidant supplementation did not affect muscle damage indices or exercise capacity after high-intensity exercise.

**Keywords:** Antioxidant foods, muscle damage, high-intensity exercise, jumping power