

大学陸上長距離選手のコンディションや競技パフォーマンスに及ぼす 牛乳たんぱく質強化乳飲料摂取の影響

武者由幸¹⁾、府川明佳²⁾、山田成臣²⁾、大西一政²⁾、山口 真²⁾、山地健人²⁾、鈴木公一³⁾、
神戸絹代⁴⁾、川島一明⁵⁾、小田宗宏³⁾、小山裕三¹⁾

¹⁾ 日本大学スポーツ科学部

²⁾ (株)明治 研究本部

³⁾ 日本大学生物資源科学部

⁴⁾ 日本大学短期大学部

⁵⁾ 日本大学

キーワード: 乳たんぱく質、筋損傷、水分保持、競技パフォーマンス

【要 旨】

陸上長距離選手のコンディションや競技パフォーマンスに及ぼす乳たんぱく質強化乳飲料(試験飲料)の継続摂取の影響を調べた。

試験飲料を16週間継続摂取し、その間に、身体計測および血液生化学検査(0週、4週、8週間後)を行うとともに Visual Analogue Scale (VAS)によるアンケート調査(0週、4週間後)も行った。その結果、高負荷のトレーニングによる体重、筋肉量の減少が見られたが、試験飲料の摂取によってクレアチンキナーゼ(CK)、アスパラギン酸アミノトランスフェラーゼ(AST)、乳酸脱水素酵素(LD)の各検査値は改善された。血清浸透圧の検査値からは、水分保持機能の改善の可能性が考えられ、また、アンケート調査の結果からは、トレーニング後の口渇感、トレーニング翌朝の体調・体全体の疲労感に関するVASの数値の改善も見られた。そして、試験飲料の継続摂取16週後に催された10,000m走のタイムトライアルにおいて、13名中12名の選手が摂取前のベストタイムを更新した。以上の結果から、乳たんぱく質の継続摂取が、筋損傷の抑制や疲労感の改善をもたらす、コンディション作りや競技パフォーマンスの向上に寄与する可能性が示唆された。

スポーツパフォーマンス研究, 8, 318-334, 2016年, 受付日: 2016年4月9日, 受理日: 2016年8月16日

責任著者: 小田宗宏 〒252-0880 藤沢市亀井野 1866 日本大学生物資源科学部 munehiro@brs.nihon-u.ac.jp

Effects of a milk protein-enriched drink on physical condition and performance in college long-distance runners

Yoshiyuki Musha¹⁾, Akika Fukawa²⁾, Naruomi Yamada²⁾, Kazumasa Onishi²⁾,
Makoto Yamaguchi²⁾, Taketo Yamaji²⁾, Kouichi Suzuki³⁾, Kinuyo Kanbe⁴⁾,

Kazuaki Kawashima⁵⁾, Munehiro Oda³⁾, Yuzou Koyama¹⁾

¹⁾ College of Sports Sciences, Nihon University

²⁾ Meiji Co., Ltd., Division of Research and Development

³⁾ Graduate School of Bioresource Sciences, Nihon University

⁴⁾ Department of Food and Nutrition, Nihon University Junior College

⁵⁾ Nihon University

Key words: milk-protein-enriched drink, muscle damage, fluid retention,
runners' performance

【Abstract】

The present study investigated effects of intake of a milk-protein-enriched drink on the physical condition and performance of college long-distance runners.

The milk-protein-enriched drink was provided to the runners for 16 weeks. Blood parameters were analyzed (0 week, 4th week, 8th week) and the degree of thirst and fatigue was measured by a visual analog scale (VAS; 0 week, 4th week).

Continuous intense training resulted in decreased body weight and muscle mass, but the measures of serum creatine kinase (CK), aspartate aminotransferase (AST), and lactate dehydrogenase (LD), which are indicators of muscle degradation, were significantly lower in the 8th week ($p < .05$) than at the start of the study. Plasma osmotic pressure at weeks 4 and 8 was also significantly lower ($p < .05$) than at the start of the study. The degree of thirst, the runners' physical condition, and their whole body fatigue as measured by the visual analog scale at the 4th week significantly improved ($p < .05$) compared with those measures at the start of the study. In a 10,000-meter race held after the 16-week study, 12 of the 13 participants improved their personal records.

These results suggest that the intake of the milk-protein-enriched drink may have prevented muscle damage, improved fluid retention, and decreased fatigue, which, in turn, may have resulted in the observed improvement in the participants' physical condition and performance.

I. 緒言

陸上長距離選手が良好なコンディションを維持し、競技パフォーマンスを向上させるためには、トレーニング、食事、健康管理が大切である。その中で、食事が非常に重要な要素であることは古くから認識されているものの、実際には、トップアスリートでも十分な栄養素が摂れていない場合もあり、また、競技に見合った食事摂取への配慮が不足している場合も多い。その背景には、陸上長距離選手は、競技パフォーマンスを向上させるために過剰な体脂肪をつけたくないと考えることから、食事制限をしている可能性もある。そのため、摂取エネルギー量やたんぱく質の摂取量の不足が心配される。その対処としては、栄養状態を見ることで評価することができ、そのひとつとして、体重や除脂肪体重 (fat free mass:FFM) の推移をみて判断する方法がある。この方法においては、FFM が減少していれば、競技パフォーマンスの低下や怪我・故障も懸念されることになる(Kubo ら 2006)。

これらの対策のひとつとして、運動トレーニング時に乳たんぱく質を摂取することが効果的ではないかと考えられる。これまでの研究においては、乳たんぱく質を摂取することで、筋疲労、筋損傷が改善されること、体水分保持能や疲労改善をもたらすこと、さらには、炎症が抑制されることなどが報告されている(Cockburn ら 2008、Cockburn ら 2013、Goto ら 2010、Yamaguchi ら 2009)。その他にも、乳たんぱく質の利点として、栄養価の視点からは、植物性のたんぱく質より動物性たんぱく質において、生物価、アミノ酸価ともに高いこと、また、牛乳たんぱく質は他のたんぱく質と比較し、筋肉の合成に必要な分岐鎖アミノ酸(ロイシン、イソロイシン、バリン)含量が高く、その中のロイシンはたんぱく質合成時の翻訳制御にかかわっていることなどが知られている(Anthony ら 2001、Reitelseder ら 2001、Wilkinson ら 2007)。

以上の知見から、陸上長距離選手が良好なコンディションを作り上げるためにも、また競技パフォーマンスを向上させるためにも、日常的に乳たんぱく質を摂取することが望ましいと考える。そこで本研究では、陸上長距離選手の日々の食生活の中で、食事内容にまで介入することなく、一日のトレーニングの前後に乳たんぱく質強化乳飲料を 16 週間継続摂取したときの選手への影響について調べることにした。

II. 試験方法

1. 試験対象者

大学陸上競技部長距離部門に属する男子選手 19 名を試験対象者とした。試験開始前の対象者の平均年齢は 20.1 ± 1.1 歳、平均身長は 170.9 ± 4.3 cm、体重は 56.5 ± 3.2 kg、体脂肪率は $9.1 \pm 2.7\%$ 、筋肉量は 48.6 ± 2.5 kg であり、BMI (Body Mass Index) は 19.3 ± 0.7 であった(表 1)。

表1 身体特性

ID	年齢	身長 (cm)	体重 (kg)	BMI (kg/m ²)	体脂肪率(%)	筋肉量(kg)
1	21	172	58.2	19.6	13.5	47.7
2	21	166	55.1	20.0	11.6	46.2
3	21	172	58.1	19.6	8.7	50.3
4	21	163	49.5	18.6	5.4	44.4
9	21	176	61.9	20.0	10.4	52.6
10	21	167	57.3	20.5	8.8	49.5
11	21	174	57.8	19.1	5.3	51.9
13	20	167	52.6	18.9	7.5	46.2
14	20	173.5	57.0	18.9	10.3	48.4
16	20	173	56.1	18.7	5.7	50.1
17	21	174	59.5	19.7	10.1	50.8
18	20	171	60.2	20.6	9.8	51.5
53	21	163	50.4	19.0	6.2	44.8
22	19	177	59.6	19.0	10.9	50.4
23	20	168	56.6	20.0	8.8	48.9
33	18	176	57.8	18.6	8.5	50.1
37	18	174.7	57.6	18.8	14.6	46.6
38	18	171	54.2	18.5	11.2	45.6
39	19	169	53.6	18.8	6.4	47.5
mean	20.1	170.9	56.5	19.3	9.1	48.6
SD	1.1	4.3	3.2	0.7	2.7	2.5

2. 試験飲料

本試験で使用した試験飲料(乳たんぱく質強化乳飲料)の主な成分の含量を表2に示した。比較のため、一般的な牛乳の組成も併せて示した。試験飲料は牛乳と比較して、脂質含量は約50%であり、炭水化物(乳糖)含量は変わらない。乳たんぱく質およびカルシウム含量は約1.5倍量である。乳たんぱく質とカルシウムを強化した乳飲料であるとともに、脂質含量を低下させたため、低カロリーである。なお、乳たんぱく質強化乳飲料は、牛乳にさらに牛乳たんぱく質を強化した飲料であり、基本的には牛乳中に含まれる成分、たんぱく質、脂質、糖質、無機質、有機酸、ビタミン類、色素類、などはすべて含まれている。

表 2 乳たんぱく質強化乳飲料および牛乳の成分比較(200mL)

	乳たんぱく質 強化乳飲料	牛乳
エネルギー (kcal)	114	134
たんぱく質 (g)	10.5	6.6
脂肪 (g)	3.9	7.6
炭水化物 (g)	9.3	9.6
カルシウム (mg)	337	220

3. 試験デザイン

(1) 試験計画の概要

試験は、以下に示す計画に従って実施した。試験に先立ち、選手に対して、試験の目的、期待される効果を説明するとともに、試験飲料摂取により考えられる副作用(例えば、乳糖による下痢など)など商品に関連した情報を提供し、問題が発生すれば医師により対応することも、併せて説明した。その上で「研究への協力同意書」の作成を依頼した。20歳に達しない選手に対しては、本人及び親からの協力同意書を得た。また、本試験は、日本大学医学部「臨床研究」の倫理審査を受けた(承認番号 25-10-1)。

データ収集のための試験飲料摂取期間を8週間(2013年8月上旬～10月上旬)とした。なお、試験期間の前半の4週間(0～4週)は合宿期間であり、後半の4週間(5～8週)は通常のトレーニング期間である。試験開始前(0週)、4週後および8週後の3回、医院にて採血を行ない、検査機関に血液生化学検査を依頼した。なお、採血はトレーニング前の午前中に行った。期間中、身体計測および Visual Analogue Scale(以後、VAS)によるアンケート調査も行った。試験飲料は、1パック200ml容量であり、原則、トレーニングの前と後にそれぞれ1パックを摂取した(200ml×2本/日)。データ収集のための試験期間を8週間としたが、16週間後に催される10,000m走のタイムトライアルまで試験飲料の摂取を継続した。なお、原則として、トレーニング前とは5時30分、トレーニング後とは17時30分、トレーニング翌朝とは5時30分を指す。

(2) 検査・調査の内容

1) 身体計測

身体の計測は、市販の体組成計(タニタ社製 BC-622)を用い、体重、体脂肪率、筋肉量、基礎代謝量について調べた。

2) 血液生化学検査

血液生化学検査(0週、4週後、8週後)では、白血球数(WBC)、赤血球数(RBC)、血色素量(Hgb)、ヘマトクリット値(Hct)、平均赤血球容積(MCV)、平均赤血球血色素量(MCH)、平均赤血球血色素濃度(MCHC)、血小板数(Plt)、総蛋白(TP)、アルブミン(Alb)、尿素窒素(UN)、クレアチニン(Cr)、総コレステロール(T-Chol)、LDLコレステロール(LDL-cho)、HDLコレステロール(HDL-cho)、アスパラギン酸アミノトランスフェラーゼ(AST)、アラニンアミノトランスフェラーゼ(ALT)、乳酸脱水素酵素

(LD)、クレアチンキナーゼ(CK)、ナトリウム(Na)、カリウム(K)、クロール(Cl)、カルシウム(Ca)、マグネシウム(Mg)、リン(P)、鉄(Fe)、遊離脂肪酸、フェリチン、総鉄結合能(TIBC)、総ケトン体、ソマトメジンC(IGF-I)、ハプトグロビン(Hp)、乳酸、浸透圧、バソプレシン(AVP)を検査項目とした。

3) コンディション調査

口の渇き、体調、疲労感などに対する効果は、合宿前後の 0 週と 4 週後の二回、各々トレーニング前、トレーニング後、トレーニング翌朝に VAS によるアンケート調査を行い、評価した。なお、アンケート調査用紙には、調査項目ごとに長さ 10cm の一本の直線が引かれており、調査項目に対して試験対象者の現状がどのような状態にあるのか、自身の感覚に従って直線上に印をつけるものである。そして、調査用紙を回収後、それぞれの項目の印の位置を左端 (0mm)から計測し数値化(mm)した。なお、このため右端が 100mm に相当することとなる。また、表3に VAS での調査項目のそれぞれの両端の規定を示した。すべて右端 (100mm) が身体等にとって最も良好な表現(状態)となるよう規定した。

表 3 VAS 調査項目

調査項目	0mm(左端)	100mm(右端)
口の渇き	今まで経験した中で一番乾いている	全く乾いていない
発汗(練習後のみ)	全く汗が出なかった	今まで経験した中で一番出た
体調	今まで経験した中で一番悪い	今まで経験した中で一番出た中で一番良い
体全体の疲労感	何もできないほど疲れ切った最悪の感覚	疲れを全く感じない最良の感覚
睡眠(練習翌朝のみ)	全く眠れなかった	今まで経験した中で一番良い睡眠
食欲	全くない	今まで経験した中で一番ある
便秘	非常に悪い	ない
下痢	非常に悪い	ない
意欲	全くない	今まで経験した中で最もやる気がある
緊張	今まで経験した中で一番緊張している	全く緊張していない
脚のつりやすさ(練習後のみ)	頻繁につった	全くつる気配はなかった
練習強度(練習後のみ)	非常に強い	何も感じない
首、背中、腰、お腹、お尻の筋肉の痛み	経験がないくらい非常に痛い	全く痛くない
右腕、左腕、右足、左足の筋肉の痛み	経験がないくらい非常に痛い	全く痛くない
首、背中、腰、お腹、お尻の筋肉の疲れ	経験がないくらい非常に疲れている	全く疲れていない
右腕、左腕、右足、左足の筋肉の疲れ	経験がないくらい非常に疲れている	全く疲れていない

4. トレーニング

トレーニングは、原則として、各選手に共通したメニューであり、通常のトレーニング、インターバルトレーニング、レペティショントレーニング、距離走等から構成されていた。

5. 統計解析

計測値、検査結果等は全て平均値±標準誤差で表した。血液検査結果の平均値の有意差検定は、等分散性を Bartlett 法で確認した後に、Holm の対応のある多重検定法を用いた。VAS の平均値の有意差検定は、各群において、0 週値と 4 週値を対応のある t 検定を用いて比較した。有意水準は両側 5%とした。

III. 結果

1. 主なトレーニング内容

合宿時は、週 6 日間の朝(朝食前)・午前(昼食前)・午後(夕食前)に 1 日 3 回のトレーニング(各々 12~16 km)を行い、その中で、週 2 回のインターバルトレーニング(400m×15 回など)とレペティショントレーニング(5,000m×2 回など)、週 1 回の距離走(25km~30km)を行い、さらに、適宜、ジョギング(60~90 分)も行った。合宿中は、1 日におよそ 40~50 km のトレーニング量であった。

また、通常時では、週 6 日間の午前・午後のトレーニング(各々 12~16 km)を行い、その中で、週 2 回のインターバルトレーニング(400m×15 回など)とレペティショントレーニング(5,000m×2 回など)を行い、さらに、適宜、ジョギング(60~90 分)も行った。しかし、通常時は距離走を実施せず、1 日におよそ 30~40km のトレーニング量となり、合宿時より走行距離が 10km ほど少ない。

2. 身体計測

身体計測結果を表 4 に示した。

(1) トレーニング前の計測結果

トレーニング前(5 時 30 分)に計測した結果(表 4-A)では、0 週と比較し、4 週後では変化は認められなかった。しかし、8 週後では筋肉量および基礎代謝量の有意($p < 0.05$)な減少と体脂肪率の有意($p < 0.05$)な上昇が見られた。

表 4-A 試験飲料摂取後の身体計測結果(トレーニング前:5 時 30 分)

測定項目	0W	4W(合宿)	8W(通常)
体重(kg)	56.46 ± 0.17	56.38 ± 0.18	56.02 ± 0.17
BMI(kg/m ²)	19.31 ± 0.03	19.26 ± 0.04	19.18 ± 0.03
体脂肪率(%)	9.14 ± 0.14 ^a	9.34 ± 0.17 ^a	10.41 ± 0.16 ^b
筋肉量(kg)	48.58 ± 0.13 ^a	48.41 ± 0.13 ^a	47.52 ± 0.11 ^b
基礎代謝量(kcal/日)	1471.9 ± 3.9 ^a	1466.0 ± 4.0 ^a	1443.2 ± 3.5 ^b

平均±標準誤差、n=18-19、異なるアルファベット間で有意差あり(Holm's test)

(2) トレーニング後の計測結果

トレーニング後(17 時 30 分)に計測した結果を表 4-B に示した。0 週と比較し、4 週後では体重、BMI が有意($p < 0.05$)に増加したが、8 週後では 0 週と同等になった。他の項目には差は認められなかった。

表 4-B 試験飲料摂取後の身体計測結果(トレーニング後:17時30分)

測定項目	0W	4W(合宿)	8W(通常)
体重(kg)	55.76 ± 0.17 ^a	56.15 ± 0.18 ^b	55.68 ± 0.17 ^a
BMI(kg/m ²)	19.08 ± 0.04 ^a	19.18 ± 0.04 ^b	19.06 ± 0.04 ^a
体脂肪率(%)	9.24 ± 0.14	10.11 ± 0.17	10.04 ± 0.15
筋肉量(kg)	47.93 ± 0.12	47.81 ± 0.14	47.42 ± 0.12
基礎代謝量(kcal/日)	1452.2 ± 3.7	1449.1 ± 4.3	1436.8 ± 3.6

平均±標準誤差、n=18-19、異なるアルファベット間で有意差あり (Holm's test)

3. 筋損傷の改善

血液生化学検査の結果を表5に示した。試験開始時(0週)においては、検査項目の中で、クレアチンキナーゼ(CK)と乳酸脱水素酵素(LD)のみが基準値を逸脱しており、その他の検査項目はいずれも基準値内であった。検査値についての統計処理の結果では、多くの項目で有意差が認められた。しかし、クレアチンキナーゼ(CK)と乳酸脱水素酵素(LD)を除き、有意差が見られた項目の検査値そのものは基準値内での変動であり、さらに、その変化量を見ると、基準値の数値幅と比較してもかなり小さなものであった。したがって、特に意味を持つ有意差とは考えられなかった。

クレアチンキナーゼ(CK)、アスパラギン酸アミノトランスフェラーゼ(AST)および乳酸脱水素酵素(LD)は筋損傷マーカーとして考えられている(Clarksonら1986、Lewickiら1987、Koutedakisら1993)。そこで、クレアチンキナーゼ(CK)の値を見ると、0週での値(444±40 IU/L)と比較し、4週後では308±26 IU/L、8週後でも239±26 IU/Lと共に有意($p < 0.05$)に低値を示した。また、4週後と8週後の値を比較すると、有意ではないが、減少傾向($p < 0.07$)にあった。アスパラギン酸アミノトランスフェラーゼ(AST)は、0週での値(33±2 IU/L)と比較し、4週後は有意($p < 0.05$)な低下が見られ(28±1 IU/L)、8週後には4週後と比較しても更に有意($p < 0.05$)な低下が見られた(25±1 IU/L)。乳酸脱水素酵素(LD)(0週;249±9 IU/L)の有意な低下は、クレアチンキナーゼ(CK)やアスパラギン酸アミノトランスフェラーゼ(AST)の場合と異なり、4週後(246±9 IU/L)では認められず、8週後(217±7 IU/L)で見られた。

表 5 血液検査結果

項目	基準値	単位	0W			4W(合宿)			8W(通常)		
			値	±	有意	値	±	有意	値	±	有意
WBC	3900-9800	/μL	7053	± 327	^a	5321	± 251	^b	5395	± 279	^b
RBC	427-570	×10 ⁴ /μL	487	± 9		495	± 8		492	± 7	
Hgb	13.5-17.6	g/dL	15.0	± 0.3		15.2	± 0.2		15.2	± 0.2	
Hct	39.8-51.8	%	45.1	± 0.8		46.3	± 0.6		45.1	± 0.6	
MCV	83-102	fl	92.9	± 0.8	^a	93.9	± 0.9	^b	92.1	± 0.7	^c
MCH	28.0-34.6	pg	30.8	± 0.3		30.7	± 0.3		30.9	± 0.2	
MCHC	31.6-36.6	%	33.2	± 0.2	^a	32.7	± 0.2	^b	33.6	± 0.1	^c
血小板数	13.0-36.9	×10 ⁴ /μL	21.1	± 0.8	^a	22.6	± 0.9	^b	22.0	± 0.6	^{ab}
TP	6.7-8.3	g/dL	7.2	± 0.1		7.2	± 0.1		7.3	± 0.1	
Alb	3.8-5.2	g/dL	4.8	± 0.1	^a	4.7	± 0.0	^{ab}	4.7	± 0.0	^b
UN	8-22	mg/dL	18.9	± 0.7	^a	16.5	± 0.5	^b	18.0	± 0.6	^{ab}

クレアチニン	0.61-1.04	mg/dL	0.89	±	0.02	^a	0.79	±	0.02	^b	0.79	±	0.02	^b
T-cho	130-219	mg/dL	178	±	8		188	±	7		178	±	7	
LDL-C	70-139	mg/dL	92	±	6		99	±	6		93	±	6	
HDL-C	40-86	mg/dL	70	±	3		72	±	3		68	±	3	
AST	10-40	IU/L	33	±	2	^a	28	±	1	^b	25	±	1	^c
ALT	5-45	IU/L	28	±	2	^a	30	±	2	^a	22	±	2	^b
LD	115-245	IU/L	249	±	9	^a	246	±	9	^a	217	±	7	^b
CK	50-250	IU/L	444	±	40	^a	308	±	26	^b	239	±	26	^b
Na	135-147	mEq/L	144	±	0.4	^a	144	±	0.3	^a	141	±	0.3	^b
K	3.6-5.0	mEq/L	3.9	±	0.1	^a	3.9	±	0.1	^a	4.5	±	0.1	^b
Cl	98-108	mEq/L	103	±	0.3	^a	102	±	0.4	^b	104	±	0.4	^c
Ca	8.6-10.1	mEq/L	9.5	±	0.1		9.5	±	0.1		9.6	±	0.1	
Mg	1.8-2.6	mEq/L	2.3	±	0.0	^a	2.3	±	0.0	^a	2.1	±	0.0	^b
P	2.5-4.6	mEq/L	3.8	±	0.1	^a	4.4	±	0.2	^b	4.2	±	0.1	^b
Fe	45-200	μg/dL	125	±	13		99	±	5		115	±	11	
遊離脂肪酸	0.10-0.85	μEq/L	0.31	±	0.04		0.19	±	0.02		0.28	±	0.04	
フェリチン	13-277	ng/mL	151	±	47	^a	147	±	48	^a	130	±	43	^b
TIBC RI	239-360	μg/dL	315	±	9		307	±	9		316	±	11	
総ケトン体	28-120	μmol/L	30.3	±	1.9	^a	26.7	±	2.1	^a	49.4	±	8.7	^b
ソマトメジンC	106-398	ng/mL	286	±	13	^a	295	±	15	^a	340	±	21	^b
ハプトグロビン	19-170	mg/dL	25.3	±	4.0		30.3	±	4.1		30.1	±	4.2	
乳酸	5.0-20.0	mg/dL	14.3	±	1.3		14.1	±	0.8		13.9	±	0.9	
浸透圧	275-290	mOsm/kgH ₂ O	289	±	1	^a	286	±	1	^b	284	±	1	^b
バソプレシン		pg/mL	15.0	±	1.3		12.8	±	1.4		11.9	±	1.8	

平均±標準誤差, n=19, 異なるアルファベット間で有意差あり (Holm's test)

4. 体水分保持能の改善

体水分保持能に関しては、血清浸透圧値から判断した。表5に示す通り、浸透圧の値(0週; 289±1 mOsm/kgH₂O)は4週後(286±1 mOsm/kgH₂O)には有意($p < 0.05$)に低下し、8週後(284±1 mOsm/kgH₂O)にも低値を維持していた。

5. 検査値の改善事例数

筋損傷に関する検査項目について、0週から8週後に至る過程での検査値(表5)の改善例を、19名の試験対象者について取りまとめた。クレアチンキナーゼ(CK)が0週において基準値内であった試験対象者は1名であったが、4週後、8週後には、それぞれ7名、12名と増加した。アスパラギン酸アミノトランスフェラーゼ(AST)に関しては、0週では17名の試験対象者が基準値内であったが、8週後には全員が基準値内となった。乳酸脱水素酵素(LD)では、0週では8名が基準値内であり、4週後においては改善例の増加は認められず、8週後に至り16名に増加した。

6. コンディションの改善

体調や疲労に関するアンケート調査の結果を表6に示した。合宿前(0週)と合宿後(4週後)の比較

であるが、その期間は通常時よりもトレーニング量が多い期間である。表 6-A から、トレーニング前の食欲の項目において VAS 値が有意 ($p < 0.05$) に上昇した。表 6-B から、トレーニング後の口の渇きの項目において VAS 値が有意 ($p < 0.05$) に上昇した。表 6-C から、トレーニング翌朝の体調、体全体の疲労感および食欲の項目において VAS 値が有意 ($p < 0.05$) に上昇した。

表 6-A VAS 調査結果(トレーニング前:5 時 30 分)

測定項目	0W			4W(合宿)			
	平均	標準誤差	標準偏差	平均	標準誤差	標準偏差	
口の渇き	41.0	±	0.9	48.9	±	1.2	
体調	46.5	±	0.6	50.5	±	0.9	
体全体の疲労感	42.8	±	1.0	36.7	±	0.8	
食欲	51.8	±	0.9	64.3	±	0.9	*
便秘	69.7	±	1.0	61.6	±	1.2	
下痢	73.1	±	1.2	71.1	±	1.2	
意欲	58.5	±	0.9	67.2	±	1.1	
緊張	74.8	±	1.0	78.1	±	0.8	
首の筋肉の痛み	69.4	±	1.2	72.8	±	1.1	
背中の筋肉の痛み	53.7	±	1.6	58.1	±	1.3	
腰の筋肉の痛み	51.3	±	1.5	50.1	±	1.4	
お腹の筋肉の痛み	73.5	±	1.2	76.3	±	0.9	
お尻の筋肉の痛み	60.6	±	1.4	54.9	±	1.3	
右腕の筋肉の痛み	78.2	±	0.9	75.8	±	1.2	
左腕の筋肉の痛み	79.2	±	0.9	75.6	±	1.2	
右足の筋肉の痛み	52.4	±	1.4	45.6	±	1.4	
左足の筋肉の痛み	59.2	±	1.4	45.4	±	1.3	*
首の筋肉の疲れ	45.3	±	1.1	50.2	±	1.2	
背中の筋肉の疲れ	42.3	±	1.3	47.1	±	1.1	
腰の筋肉の疲れ	42.9	±	1.4	41.5	±	1.2	
お腹の筋肉の疲れ	69.7	±	1.1	68.2	±	1.2	
お尻の筋肉の疲れ	54.9	±	1.5	45.6	±	1.1	
右腕の筋肉の疲れ	70.2	±	1.2	67.1	±	1.2	
左腕の筋肉の疲れ	71.2	±	1.1	64.8	±	1.3	
右足の筋肉の疲れ	42.3	±	1.5	32.8	±	1.1	
左足の筋肉の疲れ	43.8	±	1.2	31.4	±	0.9	

平均±標準誤差、n=18-19、*: $p < 0.05$ (vs 0W、対応のあるt検定)

表 6-B VAS 調査結果(トレーニング後:17 時 30 分)

測定項目	0W			4W(合宿)			
	平均	標準誤差	標準偏差	平均	標準誤差	標準偏差	有意差
口の渇き	47.2	±	1.0	64.1	±	1.0	*
発汗	61.1	±	1.2	54.6	±	0.9	
体調	51.1	±	0.6	59.7	±	1.2	
体全体の疲労感	45.2	±	1.2	42.8	±	0.8	
食欲	69.6	±	0.7	73.3	±	0.6	
便秘	59.8	±	1.2	67.4	±	1.2	
下痢	74.1	±	1.1	67.9	±	1.1	*
意欲	71.0	±	0.5	70.7	±	0.9	
緊張	70.2	±	1.0	75.9	±	0.9	
脚のつりやすさ	79.1	±	0.9	73.5	±	1.0	
練習強度	40.5	±	1.2	45.5	±	1.2	
首の筋肉の痛み	78.6	±	0.9	72.1	±	1.0	
背中の筋肉の痛み	64.6	±	1.5	61.8	±	1.4	
腰の筋肉の痛み	56.5	±	1.4	51.4	±	1.3	
お腹の筋肉の痛み	76.4	±	0.8	67.8	±	1.3	
お尻の筋肉の痛み	58.7	±	1.1	54.7	±	1.2	
右腕の筋肉の痛み	79.7	±	0.8	70.6	±	1.3	
左腕の筋肉の痛み	80.6	±	0.8	69.9	±	1.4	*
右足の筋肉の痛み	49.2	±	1.4	40.7	±	1.6	
左足の筋肉の痛み	50.8	±	1.5	47.7	±	1.4	
首の筋肉の疲れ	57.6	±	1.5	61.4	±	1.2	
背中の筋肉の疲れ	50.1	±	1.4	47.7	±	1.2	
腰の筋肉の疲れ	45.7	±	1.4	44.3	±	1.1	
お腹の筋肉の疲れ	68.8	±	0.9	64.5	±	1.3	
お尻の筋肉の疲れ	47.6	±	1.3	49.1	±	1.1	
右腕の筋肉の疲れ	73.5	±	1.0	65.1	±	1.3	
左腕の筋肉の疲れ	71.8	±	1.0	63.9	±	1.4	
右足の筋肉の疲れ	36.8	±	1.1	35.0	±	1.2	
左足の筋肉の疲れ	36.6	±	1.1	35.7	±	0.9	

平均±標準誤差、n=18-19、*: p<0.05 (vs 0W、対応のあるt検定)

表 6-C VAS 調査結果(トレーニング翌朝:5時30分)

測定項目	0W			4W(合宿)			
	平均	標準差	標準誤差	平均	標準差	標準誤差	有意差
口の渇き	48.6	±	1.1	52.9	±	1.1	
体調	47.0	±	0.7	56.2	±	1.0	*
体全体の疲労感	39.5	±	0.9	42.9	±	0.9	*
睡眠	59.6	±	0.9	63.2	±	1.0	
食欲	60.3	±	0.7	68.2	±	0.8	*
便秘	58.1	±	1.0	64.4	±	1.3	
下痢	71.1	±	1.0	72.7	±	1.1	
意欲	64.3	±	0.9	69.6	±	1.0	
緊張	74.7	±	1.2	79.8	±	0.8	
首の筋肉の痛み	65.0	±	1.3	72.1	±	0.9	
背中 of 筋肉の痛み	57.8	±	1.3	58.8	±	1.2	
腰の筋肉の痛み	52.8	±	1.4	50.7	±	1.4	
お腹の筋肉の痛み	70.0	±	1.1	67.6	±	1.3	
お尻の筋肉の痛み	53.9	±	1.3	54.4	±	1.4	
右腕の筋肉の痛み	75.3	±	1.0	72.8	±	1.3	
左腕の筋肉の痛み	75.9	±	1.0	72.5	±	1.2	
右足の筋肉の痛み	41.8	±	1.3	44.6	±	1.4	
左足の筋肉の痛み	53.7	±	1.5	45.7	±	1.4	
首の筋肉の疲れ	52.5	±	1.4	61.3	±	1.2	
背中 of 筋肉の疲れ	46.9	±	1.4	45.9	±	1.0	
腰の筋肉の疲れ	42.3	±	1.4	42.4	±	1.1	
お腹の筋肉の疲れ	66.4	±	1.1	67.8	±	1.2	
お尻の筋肉の疲れ	48.1	±	1.4	49.8	±	1.2	
右腕の筋肉の疲れ	67.4	±	1.1	66.1	±	1.5	
左腕の筋肉の疲れ	70.1	±	0.9	63.6	±	1.6	
右足の筋肉の疲れ	35.6	±	1.0	36.5	±	1.4	
左足の筋肉の疲れ	37.7	±	1.3	37.2	±	1.5	

平均±標準誤差、n=18-19、*: p<0.05 (vs 0W、対応のあるt検定)

7. 競技パフォーマンスの向上

試験飲料を継続的に16週間摂取した後に行われた10,000m走のタイムトライアルに試験対象者13名が出場した。本タイムトライアルでの記録と、摂取前のベストタイムを表7に示した。出場13名中12名が摂取前のベストタイムを更新した。

表 7 10,000m 走の記録(試験飲料摂取 16 週後)

ID	摂取前ベストタイム (分:秒.)	タイムトライアル (分:秒.)	記録の更新 (分:秒.)	記録更新 (*)
1	29:21.49	28:52.09	00:29.40	*
3	29:42.99	29:11.22	00:31.77	*
9	29:51.41	29:22.26	00:29.15	*
11	29:49.23	29:49.07	00:00.16	*
13	29:58.38	29:35.76	00:22.62	*
14	30:03.84	30:03.47	00:00.37	*
16	30:23.89	29:14.51	01:09.38	*
17	32:15.23	31:16.19	00:59.04	*
18	30:30.43	29:58.78	00:31.65	*
22	29:22.18	28:50.97	00:31.21	*
33	29:23.41	29:25.38	-00:01.97	
38	32:07.41	31:15.70	00:51.71	*
39	33:30.48	31:16.39	02:14.09	*

IV. 考察

陸上長距離選手のコンディションや競技パフォーマンスに及ぼす乳たんぱく質強化乳飲料(試験飲料)の継続摂取の影響を調べるため、大学陸上長距離選手に、試験飲料を日々のトレーニングの前後 2 回に分け、1 日に計 400mL (乳たんぱく質として計 21g)を摂取させ、その効果を、身体計測、血液検査、VAS によるアンケート調査、競技パフォーマンスの変化によって評価・考察した。

1. 身体計測項目の変化

試験期間中 1 日 400mL の試験飲料を摂取しても、筋肉量の計測値は 0 週と比較し 8 週後には有意に低値(表 4-A)を示していた。したがって、栄養調査は未実施であるものの、たんぱく質摂取量に関しては、食事による供給と運動による消費のバランスが保たれていないことも危惧され、試験飲料の摂取が無ければ筋肉量はさらに減少した可能性も考えられる。トレーニング量に応じた栄養摂取が必要であることが示唆された。

2. 血液検査項目の変化

筋損傷指標では、4 週後、8 週後には、クレアチンキナーゼ(CK)、アスパラギン酸アミノトランスフェラーゼ(AST)および乳酸脱水素酵素(LD)の有意な低値化(表 5)が見られ、試験飲料の継続摂取により、筋損傷が抑制されていると考えられた。

熊江ら(1997)の大学陸上長距離選手を対象にした試験において、トレーニング期間中は数か月にわたってクレアチンキナーゼ(CK)等は高値を示していたことが報告されている。また、風見ら(2014)の試験においても、大学長距離選手に対するトレーニング期間(二か月間)の前後でのクレアチンキナーゼ(CK)は有意に上昇し、その上昇(筋損傷)が疲労蓄積の原因であると報告されている。さらに、Batyら(2007)も、レジスタンス運動において、(たんぱく質+糖質)を摂取したグループとプラセボグループの

クレアチンキナーゼ(CK)を比較したところ、24 時間後の検査値が前者で有意に低下していたことを報告している。これらの報告から、本試験においても、高負荷トレーニング中にも拘わらず、試験飲料の摂取によりクレアチンキナーゼ(CK)が低値化したと考えられた。また、乳酸脱水素酵素(LD)の推移を見ると、摂取期間が 8 週後に有意な低値が認められたことから、指標によっては改善に要する時間に違いが有る可能性も示された。

試験開始時(0 週)にクレアチンキナーゼ(CK)および乳酸脱水素酵素(LD)の検査値が基準値内であった試験対象者数は少ないことから、その検査結果は通常のトレーニング下での状態を示していると考えられる。即ち、試験対象者の多くは、筋損傷状態にあることが常態化していることを意味している。合宿期間中(0 週~4 週後)は、試験飲料を摂取するとともに、通常よりもトレーニング量が多い期間であるが、4 週後の検査結果を見ると、0 週と比較し、クレアチンキナーゼ(CK)では基準値内を示す事例が急増し、乳酸脱水素酵素(LD)の検査値では基準値を超える新たな事例は見られなかった。また、合宿が終了すると通常のトレーニングに戻るが、8 週後の検査結果を見ると、クレアチンキナーゼ(CK)では基準値内を示す事例が 19 名中 12 名に、乳酸脱水素酵素(LD)では、19 名中 16 名と増加した。試験飲料摂取前の 0 週と比較し、明らかに基準値内選手が多かったことから、試験飲料の摂取により筋損傷が抑制されたと考えられた。

中村(2009)は、乳たんぱく質と他のたんぱく質(大豆たんぱく質など)とを比較すると、乳たんぱく質は、より多くの分岐鎖アミノ酸を含んでいることから、それが筋肉合成を促進し、その結果、筋損傷の回復をもたらすと報告している。また、Phillips ら(2009)や Paddon-Jones ら(2015)は、試験飲料の摂取タイミングに関して、トレーニングの前後(運動 90 分前から、運動後 2 時間まで)に摂取することは、筋合成がより効率的に行われると報告している。これらの知見から推察すると、トレーニングの前後に乳を摂取すると、筋損傷の抑制に対してより効果的に作用することが期待できる。

3. VAS によるアンケート調査項目の変化

体調、体全体の疲労感に関するアンケート調査の結果では、VAS の数値が改善していた(表 6-C)。夏季合宿というトレーニング量の多い厳しい期間中にもかかわらず、VAS の数値が改善していたことは好ましい結果である。古くから牛乳・乳製品の安眠効果に関する研究がなされており、睡眠にはセロトニンやメラトニンが重要な役割を果たしていることが知られている(桐原, 2015)。本試験で見られた体調、疲労感に関する VAS の数値が向上したことは、試験飲料により良質な睡眠がもたらされたことによることも考えられ、本試験では不十分な調査であったが、睡眠の質に関する調査も、今後は重要な調査項目として取り入れる必要があるといえよう。

4. 体水分保持機能の変化

体水分保持機能に関することでは、血清浸透圧が有意に低値化(表 5)していることおよび口渇感に関するアンケート調査の結果(表 6-B)では VAS の数値が改善していることなどから、試験飲料摂取により体水分保持機能が向上したと考えられた。乳たんぱく質が消化管内で酵素により分解されるとペプチドやアミノ酸が遊離されるが、ペプチド類が水の吸収を促進することが明らかにされている(Ito ら, 2015)ことから、体内への水の吸収が高まっていることも考えられる。そして、そのような可能性が考えら

れるのであれば、本試験飲料は、脱水予防の観点からも有用な飲料であると思われる。

5. 競技パフォーマンスの変化

試験飲料を16週間継続摂取した後に催された10,000m走のタイムトライアルでの記録に触れると、出場した試験対象者13名の内12名が摂取前のベストタイムを更新した。緒言でも述べたが、トレーニング時に、乳たんぱく質をベースとし炭水化物を加えたサプリメントを摂取すると、筋肉痛、筋損傷が改善され、筋肉の合成が促進されること(Cockburnら2008、Cockburnら2013)、体水分保持能が高まること(Gotoら2010)、炎症が抑制されること(Yamaguchiら2009)、などが報告されており、本試験飲料は様々な生理学的側面から競技パフォーマンスの向上に寄与する可能性があると考えられた。

6. 現場への提言

乳・乳製品の摂取が各種スポーツに有利に働くことは多くの研究で明らかにされていることや、本研究で得られた結果からも、陸上長距離選手のコンディション作りや競技パフォーマンスの向上のためには乳・乳製品の摂取は有効であり、本研究で用いたような乳たんぱく質を強化した乳飲料の摂取も推奨されるものと考えている。ここまでの議論では、乳たんぱく質に関する知見を中心に言及したが、乳には、乳糖やカルシウムも相当量含まれている(表2)。乳糖のカルシウム吸収促進作用(Armbrecht & Wasserman 1976)は、骨量増加にとっても、また、発汗によるカルシウム排泄を補うことにおいても重要である。さらに、たんぱく質と糖質を同時に摂取する場合は、たんぱく質単独摂取時と比較して、たんぱく質合成は活発となり、また、体たんぱく質の分解が抑制されると報告されている(Koopmanら2005)。このように乳はどのような種類のスポーツに対してもコンディション作りや競技パフォーマンスの向上にとって有益な栄養食品である。

7. 本研究の限界と今後の検討課題について

本試験は、現役選手の協力の下で行なったものであることから、肉体的にも精神的にも負担を極力排除すべく試験計画を立案した。したがって、選手の益に繋がらないプラセボグループを設定しなかった。その為、乳たんぱく質強化乳飲料を摂取する前と摂取した後の比較を行うことにより評価したものである。

このような本研究の限界を考慮しながらも、日常的に高負荷のトレーニングを継続する中で、乳飲料摂取の効果を確認できたと考えている。しかし、測定値・検査値の改善が競技パフォーマンスの向上と直接関係しているか否かについては判断が難しい。したがって今後さらに、測定値や検査値に加え、コンディション作りや競技パフォーマンスの向上を助ける心理的側面を持つ適切なアンケート調査項目を追加し、総合的な評価方法を考案することも必要と考える。

REFERENCES

- ・ Anthony JC, Anthony TG, Kimball SR, Jefferson LS. (2001) Signaling Pathways Involved in Translational Control of Protein Synthesis in Skeletal Muscle by Leucine. *J Nutr.*, **131**, 856-860.

- Armbrrecht H. J. and Wasserman R. H. (1976) Enhancement of Ca⁺⁺ Uptake by Lactose in the Rat Small Intestine. *J. Nutr.*, 106, 1265-1271.
- Baty JJ, Hwang H, Ding Z, Bernard JR, Wang B, Kwon B, Ivy JL. (2007) The effect of a carbohydrate and protein supplement on resistance exercise performance, hormonal response, and muscle damage. *J Strength Cond Res.*, 21, 321-329.
- Clarkson PM, Byrnes WC, McCormick KM, Turcotte LP, White JS. (1986) Muscle soreness and serum creatine kinase activity following isometric, eccentric, and concentric exercise. *Int J Sports Med.*, 7, 152-155.
- Cockburn E, Bell PG, Stevenson E. (2013) Effect of milk on team sport performance after exercise-induced muscle damage. *Med Sci Sports Exerc.*, 45, 1585-1592.
- Cockburn E, Hayes PR, French DN, Stevenson E, St Clair Gibson A. (2008) Acute milk-based protein-CHO supplementation attenuates exercise-induced muscle damage. *Appl Physiol Nutr Metab.*, 33, 775-783.
- Douglas Paddon-Jones, Wayne W Campbell, Paul F Jacques, Stephen B Kritchevsky, Lynn L Moore, Nancy R Rodriguez, and Luc JC van Loon (2015) Protein and healthy aging. *Am J Clin Nutr.*, 101 (Suppl), 1339S-45S.
- Goto M, Okazaki K, Kamijo Y, Ikegawa S, Masuki S, Miyagawa K, Nose H. (2010) Protein and carbohydrate supplementation during 5-day aerobic training enhanced plasma volume expansion and thermoregulatory adaptation in young men. *J Appl Physiol*, 109, 1247-1255.
- Ito K, Saito Y, Ashida K, Yamaji T Itoh H, Oda M. (2015) Increased Milk Protein Concentration in a Rehydration Drink Enhances Fluid Retention Caused by Water Reabsorption in Rats. *Biol. Pharm. Bull.* 38, 1169-1174.
- 風見公子、芦田欣也、佐藤裕子、新居利広、風見昌利、大崎 栄、小林修平 (2014) 栄養介入による男子大学生長距離ランナーの貧血指標の改善、*体力科学*、63, 313-321.
- 桐原 修(2015) 牛乳・乳製品のリラックス・安眠効果、牛乳と健康、牛乳乳製品健康科学会編集、ライフサイエンス出版、pp.196-204.
- Koutedakis Y, Raafat A, Sharp NC, Rosmarin MN, Beard MJ, Robbins SW. (1993) Serum enzyme activities in individuals with different levels of physical fitness. *J Sports Med Phys Fitness.*, 33, 252-257.
- 熊江 隆、荒川はつ子、鈴川一宏、石崎香理、内山巖雄 (1997) 大学駅伝選手における血清酵素活性と主観的疲労度に関する研究、*体力科学*、46, 189-200.
- Kubo J, Chishaki T, Nakamura N, Muramatsu T, Yamamoto Y, Ito M, Saitou H, Kukidome T. (2006) Differences in fat-free mass and muscle thicknesses at various sites according to performance level among Judo athletes. *J Strength Cond Res.*, 20, 654-657.

- Lewicki R, Tchórzewski H, Denys A, Kowalska M, Golińska A. (1987) Effect of physical exercise on some parameters of immunity in conditioned sportsmen. *Int J Sports Med.*, 8, 309-314.
- 中村浩彦(2009) スポーツ栄養としての乳成分、乳業技術、59、34-48.
- Stuart M. Phillips, Jason E. Tang, Daniel R. Moore. (2009) The role of milk- and soy-based protein in support of muscle protein synthesis and muscle protein accretion in young and elderly persons. *J Am Coll Nutr.*, 28, 343-354.
- Reitelseder S, Agergaard J, Doessing S, Helmark IC, Lund P, Kristensen NB, Frystyk J, Flyvbjerg A, Schjerling P, Hall G, Kjaer M, Holm L. (2011) Whey and casein labeled with L-[1-¹³C]leucine and muscle protein synthesis : effect of resistance exercise and protein ingestion. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 300, E231-E242.
- René Koopman, Anton J. M. Wagenmakers, Ralph J. F. Manders, Antoine H. G. Zorenc, Joan M. G. Senden, Marchel Gorselink, Hans A. Keizer, Luc J. C. van Loon (2005) Combined ingestion of protein and free leucine with carbohydrate increases postexercise muscle protein synthesis in vivo in male subjects. *Am J Physiol Endocrinol Metab.*, 288, E645-E653,
- Wilkinson SB, Tarnopolsky MA, MacDonald MJ, MacDonald JR, Armstrong D, Phillips SM. (2007) Consumption of fluid skim milk promotes greater muscle protein accretion after resistance exercise than dose consumption of an isonitrogenous and isoenergetic soy-protein beverage. *Am J Clin Nutr*, 85, 1031-1040.
- Yamaguchi M, Yoshida K, Uchida M. (2009) Novel functions of bovine milk-derived alpha-lactalbumin: anti-nociceptive and anti-inflammatory activity caused by inhibiting cyclooxygenase-2 and phospholipase A2. *Biol Pharm Bull.*, 32, 366-371.