

栄養アセスメントからみたアスリートの 乳製品摂取の効果に関する栄養生理学的研究

福岡教育大学 屋代正範

要 約

A. 栄養アセスメント

本研究では栄養アセスメントとして、牛乳常飲者及び牛乳非常飲者を対象とし、日常的な牛乳摂取が体脂肪率、骨梁面積率、さらに運動時における血中オステオカルシン、血清グルコース、血清遊離脂肪酸、血清分岐鎖アミノ酸（以下、BCAA と略す）、血中クレアチンキナーゼ（以下、CK と略す）などの変動に及ぼす影響について比較、検討を行い次のような結果を得た。

1. 体脂肪率は牛乳常飲者の方が牛乳非常飲者よりも低い傾向を示した。
2. 骨梁面積率は牛乳常飲群が牛乳非常飲群と比較し、高い傾向を示した。
3. 血中オステオカルシンレベルは牛乳常飲群及び牛乳非常飲群のいずれにおいても、運動後に増加する様子にあった。
4. 安静時血清グルコースレベルは、牛乳非常飲群に比べ牛乳常飲群の方が低い様子にあった。また、牛乳常飲群及び牛乳非常飲群のいずれも運動前と比較し運動後の血清グルコースレベルが減少する様子がみられた。
5. 血清遊離脂肪酸レベルは、牛乳常飲群及び牛乳非常飲群のいずれにおいても運動後に有意に増加した ($p < 0.01$)。
6. 血清 BCAA レベルは牛乳常飲群において運動前と比較し運動後で減少する傾向を示し、牛乳非常飲群においては運動前と比較し運動後で増加する傾向を示した。
7. 血中 CK レベルは牛乳常飲群、牛乳非常飲群ともに運動前と比較し運動後で増加する傾向がみられた。

B. 介入実験

栄養アセスメントに対する介入実験として、牛乳非常飲者を対象とし、45 日間 (1 ℓ/day) の牛乳摂取を行い、牛乳摂取実験開始前及び牛乳摂取実験終了後の体脂肪率、骨梁面積率、さらに運動時における血中オステオカルシン、血清グルコース、血清遊離脂肪酸、血清 BCAA、血中 CK などの変動に及ぼす影響について比較、検討を行い次のような結果を得た。

1. 体脂肪率は牛乳摂取実験開始前と比較し牛乳摂取実験終了後で上昇する様子にあった。

2. 骨梁面積率は牛乳摂取実験開始前と比較し牛乳摂取実験終了後で増加する傾向にあった。
3. 血中オステオカルシンレベルは牛乳摂取実験開始前、牛乳摂取実験終了後のいずれにおいても運動後に増加する傾向にあったが、その増加率は牛乳摂取実験終了後の方が牛乳摂取実験開始前に比べ高い様子を示した。
4. 安静時血清グルコースレベルは牛乳摂取実験開始前に比べ牛乳摂取実験終了後に減少する傾向にあった。また、牛乳摂取実験開始前と比較し牛乳摂取実験終了後は運動時の血清グルコース利用が抑制される様子にあった。
5. 血清遊離脂肪酸レベルは、牛乳摂取実験開始前、牛乳摂取実験終了後ともに運動前と比較し運動後で有意に増加したが、牛乳摂取実験終了後においてより顕著に増加する様子にあった（牛乳摂取前； $p < 0.05$ ，牛乳摂取後； $p < 0.01$ ）。
6. 血清 BCAA レベルは牛乳摂取実験開始前、牛乳摂取実験終了後ともに運動前と比較し運動後で増加する様子がみられ、牛乳摂取実験開始前においてその差は有意なものであった（ $p < 0.05$ ）。
7. 血中 CK レベルは牛乳摂取実験開始前、牛乳摂取実験終了後ともに運動前と比較し運動後で増加する傾向がみられた。

研究目的

本研究では体づくり、体力づくりに資する食環境要因を日常の食物摂取行動に求めてアスリートの基本的な食生活のありかたを探るために企てた。食生活における乳製品の意義については栄養学領域で特に強調されているところでもある。一般人についてもさることながら、とりわけ、アスリートの体づくり、体力づくりの基本食品として良質のたんぱく質源及びカルシウム源となる乳製品の有用性については多くの識者が指摘するところである。しかし、サプリメントや滋養強壯剤等に対する関心の高まりや依存度の高い状況を背景として、乳製品は経済的に安価で且つ栄養学的に優れたメリットをもちながらアスリートの食生活の中に必ずしも十分に浸透しているとはいえない実態もある。スポーツライフにおける日常の食生活での乳製品の果たす栄養生理学的役割について科学的に裏付けられた知見がさらに求められるところであろう。

本研究では (1) 先ず、日常、乳製品としての牛乳を常飲するアスリート及び常飲しないアスリートを対象として骨密度、体脂肪量、血中オステオカルシン、血清グルコース、血清遊離脂肪酸レベルをそれぞれ調査し、牛乳摂取との関連で栄養生理的側面から検討することが一つの目的である。

(2) さらに前述した栄養アセスメントを基礎とし、それに対する介入実験の一つとしてアスリートを対象とした実験で1ヶ月余りにわたる1日当たり1ℓの牛乳摂取期及び非摂取期における骨密度、体脂肪量、血中オステオカルシン、血清グルコース、血清遊離脂肪酸レベル等について分析し、アスリートに対する乳製品としての牛乳摂取の栄養生理的意義を明らかにすることも目的とするところである。

このことを踏まえ本研究では、さらに運動負荷時の血中 BCAA（ロイシン、イソロイシン、バリン）レベル、筋肉の損傷の程度を示すマーカーとなる血中クレアチンフォスフォキナーゼ活性についても合わせて検討し、乳製品としての牛乳の持つ栄養生理的効果を体力科学的視点から分析、考察することも一つのねらいである。

実験方法（アセスメント実験）

第 1 回目の実験では、アスリートにおける牛乳常飲者及び非常飲者の体脂肪率、骨梁面積率、さらに運動時における血清グルコース、血清遊離脂肪酸、血中オステオカルシン、血清 BCAA、血中 CK 活性の各レベルに関する栄養アセスメントを行った。

A. 被験者

福岡教育大学運動部に所属する健康な男子学生 24 名（うち牛乳常飲者 13 名、非常飲者 11 名）を対象とした (Table 1)。あらかじめ実験の概要について説明し、同意を得て行った。実験に際して、被験者の栄養状態を同一にするため実験開始の 3 日前からコントロール食として同一食を摂取させた (Table 2)。なおその間水またはお茶のみを自由摂取とした。

B. 実験スケジュール

実験のスケジュールは Fig. 1 に示すとおりである。朝食後、身長、体重、体脂肪率、骨梁面積率の測定を行い、朝食後 3 時間経過した時点から 70% $\dot{V}O_{2max}$ 相当の運動負荷を自転車エルゴメーターにより 50 分間行った。また、運動開始直前の安静時、運動負荷直後の計 2 回、前腕静脈より採血を行った。

C. 測定項目

体脂肪率は、体重体組成計カラダスキャン HBF - 354IT（オムロンヘルスケア(株)製）を用い測定した。

骨梁面積率は、超音波骨量測定装置 BenusIII（榊石川製作所製）を用い右踵足より測定した。

血清グルコースの定量は、酵素法（Glu - DH 法）に基づき行った。

血清遊離脂肪酸の定量は、NEFA-テストワコー（和光純薬工業(株)製）を用いて行った。

血中オステオカルシンの定量は、RIA 固相法（IRMA）に基づき行った。

血清 BCAA の定量は、HPLC（高速液体クロマトグラフィ）を用いて行った。

血中 CK の定量は、JSCC 標準化対応法に基づき行った。

D. 統計処理

以下の実験結果における値はすべて平均±標準偏差で示し、それぞれ student の T - test を用いて統計処理を行った。

Table 1. 被験者の特徴

	牛乳常飲群	牛乳非常飲群
年齢(歳)	18.8±1.1	19.7±1.7
身長(cm)	175.3±4.1	173.8±6.0
体重(kg)	70.9±5.3	69.8±6.5

Table 2. コントロール食

	1日目	2日目	実験日・朝
熱量(kcal)	3372	3431	883
タンパク質(g)	107.1	113.9	29.8
脂質(g)	106.3	111.2	29.8
炭水化物(g)	518.3	468.5	124.4

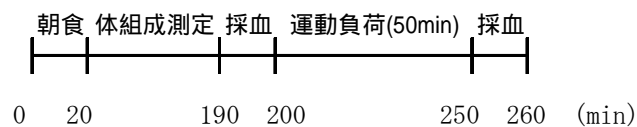


Fig. 1 実験スケジュール

実験方法 (介入実験)

第2回目の実験では、栄養アセスメントに対する介入実験として、アスリートの牛乳摂取効果に関する栄養生理学的研究を行った。牛乳摂取習慣のないアスリートに対し45日間牛乳を摂取させ(1ℓ/day)、その前後における体脂肪率、骨梁面積率、さらに運動時における血清グルコース、血清遊離脂肪酸、血中オステオカルシン、血清BCAA、血中CK活性の各レベルについて比較検討を行った。

A. 被験者

福岡教育大学運動部に所属する、牛乳摂取習慣のない健康な男子学生6名を対象とした(Table 3)。あらかじめ実験の概要について説明し、同意を得て行った。実験に際して、被験者の栄養状態を同一にするため、実験開始の3日前からコントロール食として同一食を摂取させた(Table 4)。なおその間水またはお茶のみを自由摂取とした。

C. 実験期間

本実験は、平成 18 年 9 月 11 日から 10 月 29 日にかけて行われた。被験者に対して牛乳（某乳業株製）を 1ℓ/day 摂取させ、その前後で体組成、運動時における血液性状等の比較検討を行った。なお、摂取させた牛乳の栄養成分は Table 5 に、実験期間中のスケジュールは Fig. 2 に各々示した。

B. 実験スケジュール

実験当日のスケジュールは Fig. 3 に示すとおりである。朝食後、身長、体重、体脂肪率、骨梁面積率の測定を行い、朝食後 3 時間経過した時点から 70%VO₂max 相当の運動負荷を自転車エルゴメーターにより 70 分間行った。また、運動開始直前の安静時、運動負荷直後の計 2 回、前腕静脈より採血を行った。

C. 測定項目

体脂肪率は、体重体組成計カラダスキャン HBF - 354IT（オムロンヘルスケア株製）を用い測定した。

骨梁面積率は、超音波骨量測定装置 Benus III（榊石川製作所製）を用い右踵足より測定した。

血清グルコースの定量は、酵素法（Glu - DH 法）に基づき行った。

血清遊離脂肪酸の定量は、NEFA-テストワコー（和光純薬工業株製）を用いて行った。

血中オステオカルシンの定量は、RIA 固相法（IRMA）に基づき行った。

血清 BCAA の定量は、HPLC（高速液体クロマトグラフィ）を用いて行った。

血中 CK の定量は、JSCC 標準化対応法に基づき行った。

D. 統計処理

以下の実験結果における値はすべて平均±標準偏差で示し、それぞれ student の T - test を用いて統計処理を行った。

Table 3. 被験者の特徴

	対 象					
	A	B	C	D	E	F
年齢(歳)	19	19	18	20	19	19
身長(cm)	166	169	165	173	175	178
体重(kg)	61.0	70.4	57.7	68.7	67.0	68.4

Table 4. コントロール食

	1日目	2日目	実験日・朝
熱量(kcal)	3731	3724	883
タンパク質(g)	133.2	127.8	29.8
脂質(g)	142.9	134.2	29.8
炭水化物(g)	499.4	489.2	124.4

Table 5. 牛乳10の栄養成分

熱量(kcal)	685
タンパク質(g)	34.0
脂質(g)	39.0
炭水化物(g)	49.5
ナトリウム(mg)	425
カルシウム(mg)	1135

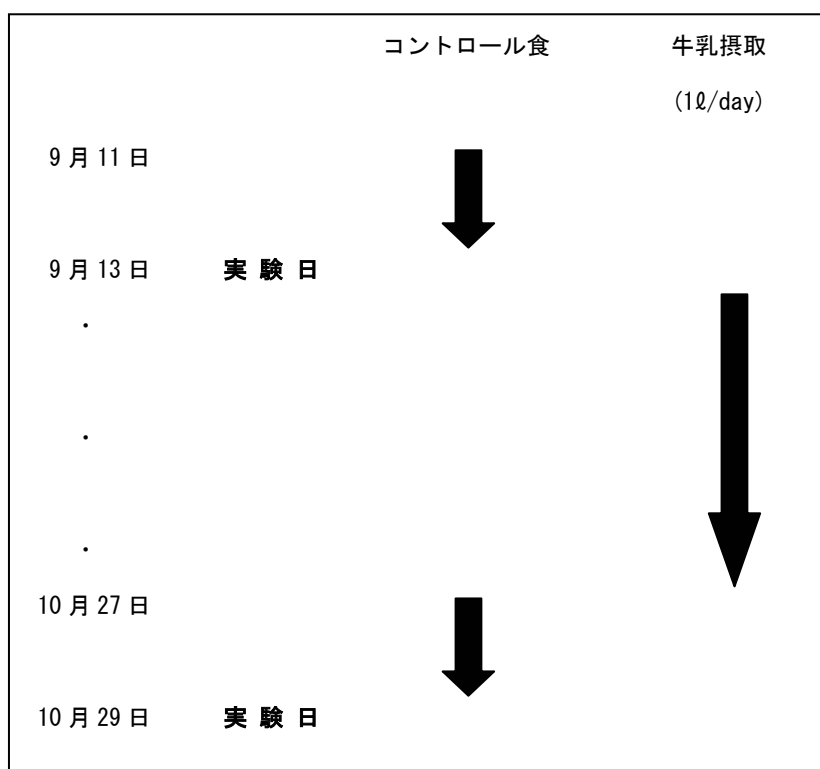


Fig. 2 実験スケジュール (全体)

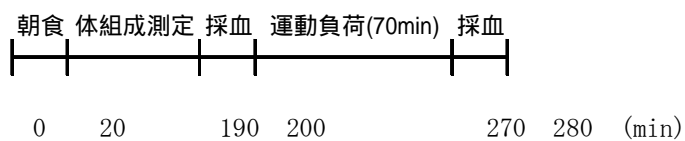


Fig. 3 実験スケジュール (当日)

実験結果 (アセスメント実験)

A. 体脂肪率

牛乳常飲群および牛乳非常飲群の体脂肪率はFig. 4に示した。牛乳常飲群は $14.0 \pm 2.8\%$ 、牛乳非常飲者群は $14.0 \pm 2.9\%$ であり、両群において有意な差は認められなかった。

B. 骨梁面積率

牛乳常飲群および牛乳非常飲群の骨梁面積率は Fig. 5 に示した。牛乳常飲群は $37.8 \pm 3.8\%$ 、牛乳非常飲群は $35.7 \pm 3.0\%$ であった。両群間において牛乳常飲群の方がやや高い傾向を示したが、有意な差は認められなかった。

C. 血中オステオカルシン

牛乳常飲群及び牛乳非常飲群の運動時における血中オステオカルシンレベルの変動は Fig. 6 に示した。牛乳常飲群、牛乳非常飲群ともに運動後の血中オステオカルシン濃度が運動前に比べて増加する傾向がみられたが、その差は有意なものではなかった。

D. 血清グルコース

牛乳常飲群及び牛乳非常飲群の運動時における血清グルコースレベルの変動は Fig. 7 に示した。運動前の血清グルコースレベルは牛乳常飲群が 77.4 ± 10.7 、牛乳非常飲群が 85.3 ± 15.3 であり、牛乳常飲群の方が牛乳非常飲群と比較し低い傾向を示したが、有意な差は認められなかった。また、運動後に両群で減少する傾向がみられたが有意な差は認められなかった。

E. 血清遊離脂肪酸

牛乳常飲群及び牛乳非常飲群の運動時における血清遊離脂肪酸レベルの変動は Fig. 8 に示した。牛乳常飲群及び牛乳非常飲群ともに運動前と比較し、運動後で血清遊離脂肪酸レベルが有意に増加した ($p < 0.01$)。また、運動後の増加の程度は牛乳常飲群の方が高い様子が伺われたが、有意な差は認められなかった。

F. 血清BCAA

牛乳常飲群及び牛乳非常飲群の運動時における血清BCAAレベルの変動は Fig. 9 に示した。牛乳常飲群において運動前と比較し運動後で減少する傾向を示し、牛乳非常飲群においては運動前と比較し運動後で増加する傾向を示したが、有意な差は認められなかった。

G. 血清バリン

牛乳常飲群及び牛乳非常飲群の運動時における血清バリンレベルの変動は Fig. 10 に示した。いずれの群も運動による顕著な変動は認められなかった。

H. 血清ロイシン

牛乳常飲群及び牛乳非常飲群の運動時における血清ロイシンレベルの変動は Fig. 11 に示した。牛乳非常飲群において、運動前と比較し運動後で有意に増加することが認められた ($p < 0.05$)。

I. 血清イソロイシン

牛乳常飲群及び牛乳非常飲群の運動時における血清イソロイシンレベルの変動はFig. 12に示した。いずれの群も運動による有意な変動は認められなかった。

J. 血中CK

牛乳常飲群及び牛乳非常飲群の運動時における血中CKレベルの変動はFig. 13に示した。牛乳常飲群、牛乳非常飲群ともに運動前と比較し運動後で増加する傾向がみられた。また、運動前、運動後ともに牛乳常飲群で牛乳非常飲群と比較しやや高い数値を示した。しかしその差は有意なものではなかった。

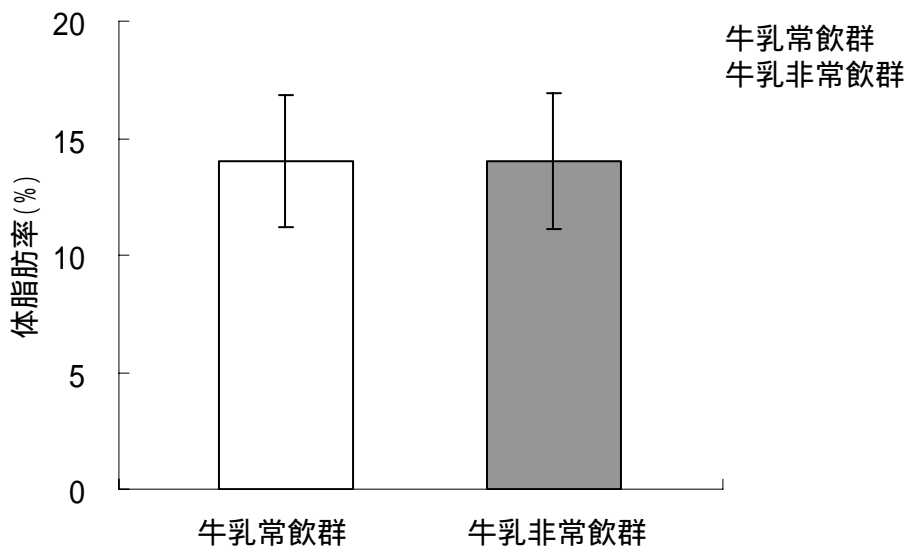


Fig. 4 日常的な牛乳摂取が体脂肪率に及ぼす影響

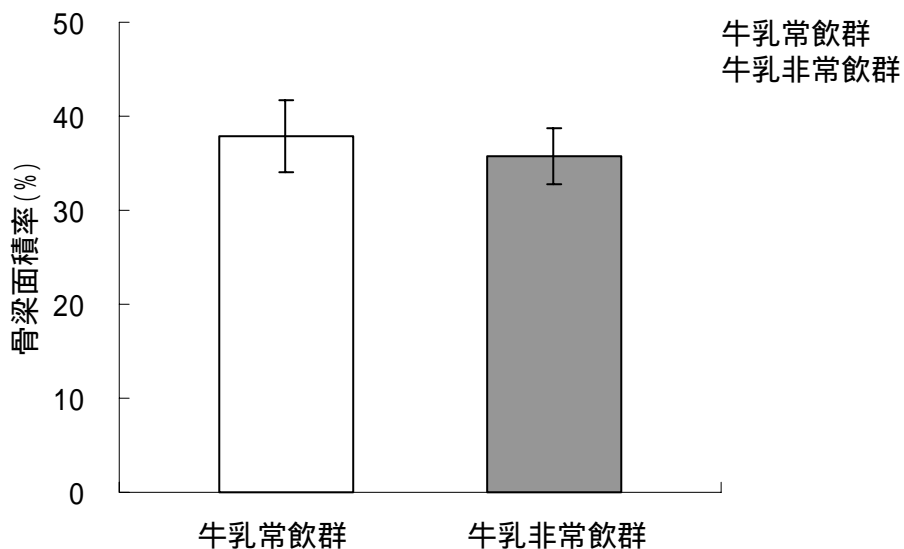


Fig. 5 日常的な牛乳摂取が骨梁面積率に及ぼす影響

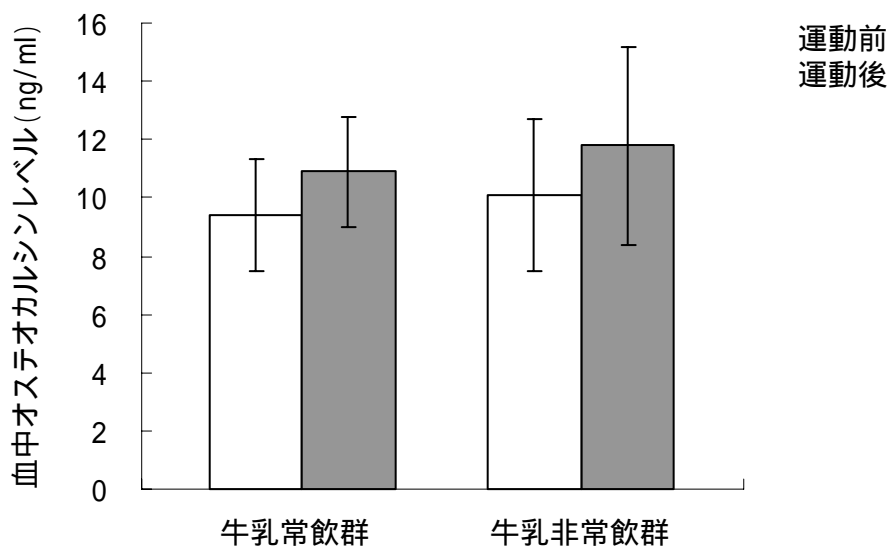


Fig. 6 日常的な牛乳摂取が運動時の血中オステオカルシンレベルに及ぼす影響

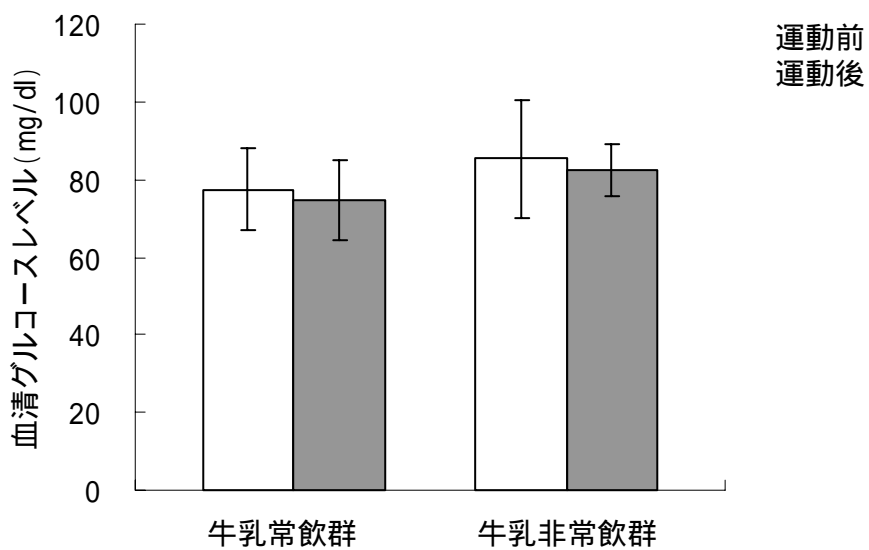


Fig. 7 日常的な牛乳摂取が運動時の血清グルコースレベルに及ぼす影響

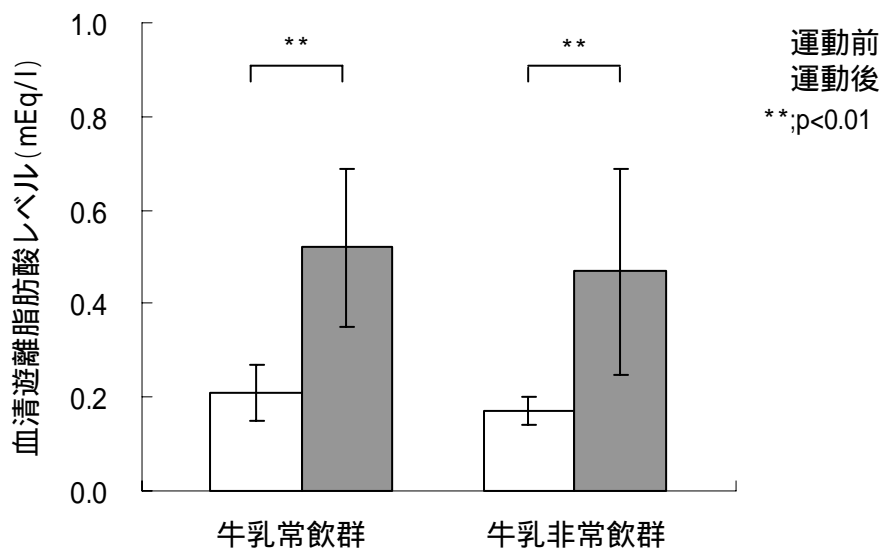


Fig. 8 日常的な牛乳摂取が運動時の血清遊離脂肪酸レベルに及ぼす影響

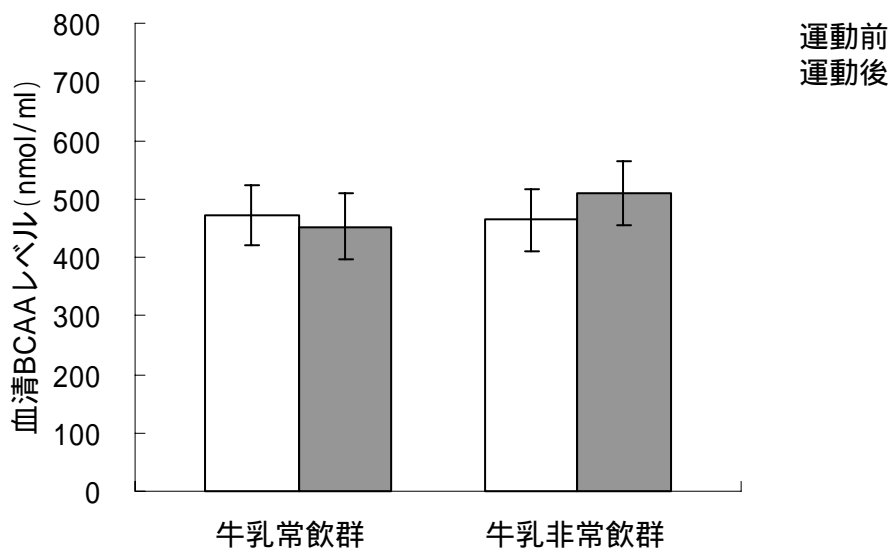


Fig. 9 日常的な牛乳摂取が運動時の血清 BCAA レベルに及ぼす影響

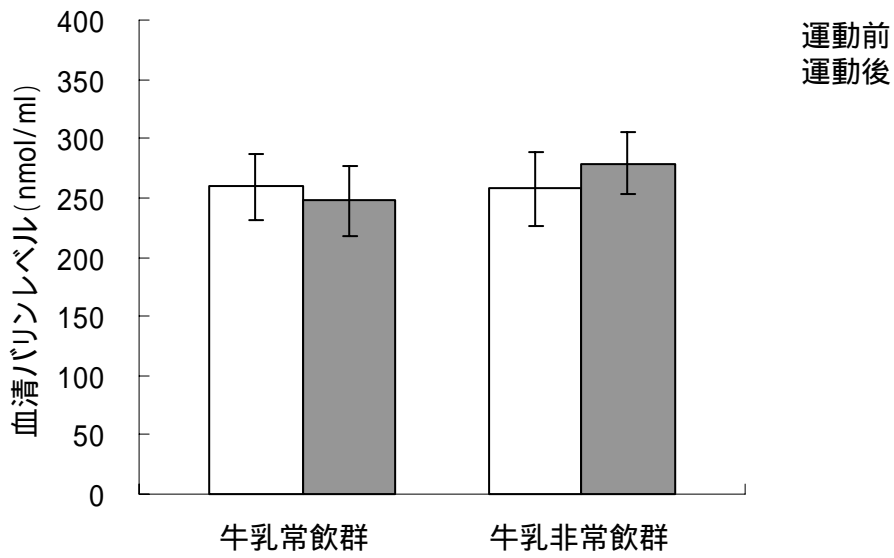


Fig. 10 日常的な牛乳摂取が運動時の血清バリンレベルに及ぼす影響

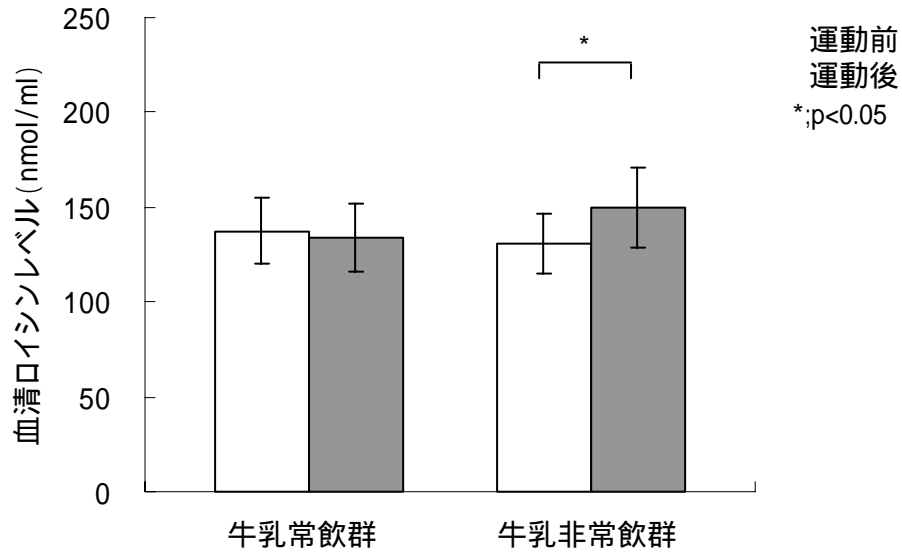


Fig. 11 日常的な牛乳摂取が運動時の血清ロイシンレベルに及ぼす影響

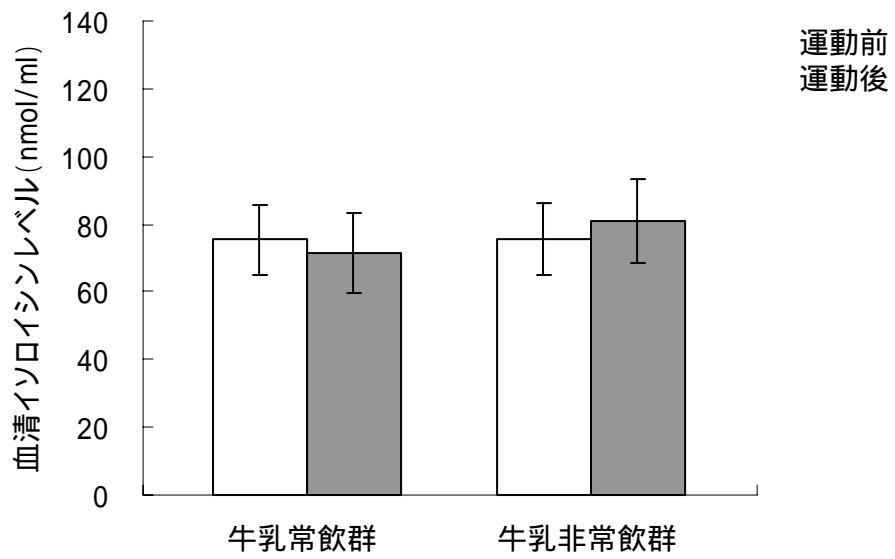


Fig. 12 日常的な牛乳摂取が運動時の血清イソロイシンレベルに及ぼす影響

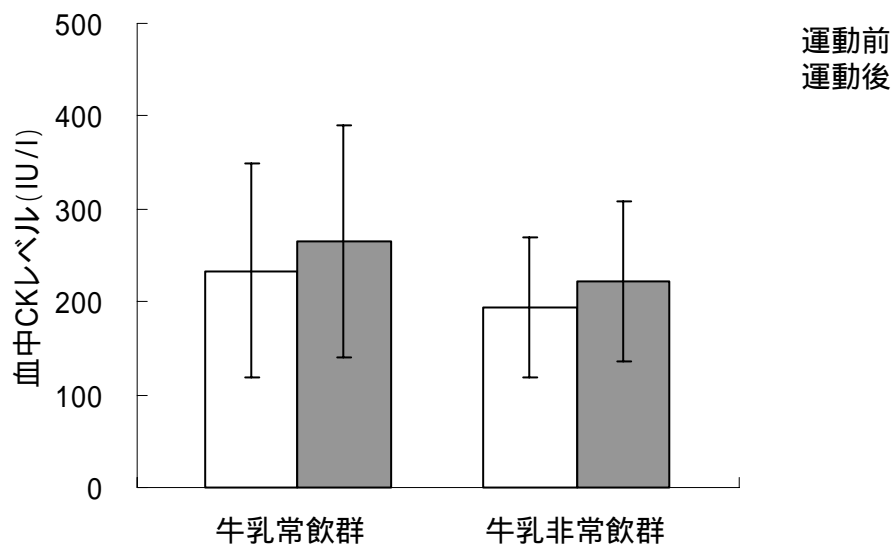


Fig. 13 日常的な牛乳摂取が運動時の血中CK活性レベルに及ぼす影響

実験結果 (介入実験)

A. 体脂肪率

牛乳摂取実験開始前および牛乳摂取実験終了後の体脂肪率は Fig. 14 に示した。牛乳摂取実験開始前は $13.3 \pm 3.1\%$ 、牛乳摂取実験終了後は $15.4 \pm 2.6\%$ であり、牛乳摂取実験開始前と比較し牛乳摂取実験終了後で約 2% の増加がみられたが、有意な差は認められなかった。

B. 骨梁面積率

牛乳摂取実験開始前および牛乳摂取実験終了後の骨梁面積率は Fig. 15 に示した。牛乳摂取実験開始前は $35.8 \pm 4.0\%$ 、牛乳摂取実験終了後は $36.7 \pm 3.2\%$ であり、牛乳摂取実験終了後において増加する傾向にあったが、有意な差は認められなかった。

C. 血中オステオカルシン

牛乳摂取実験開始前および牛乳摂取実験終了後の運動時における血中オステオカルシンレベルの変動は Fig. 16 に示した。牛乳摂取実験開始前、牛乳摂取実験終了後ともに運動前と比較し運動後で増加する様子がみられたが、その差は有意ではなかった。

D. 血清グルコース

牛乳摂取実験開始前および牛乳摂取実験終了後の運動時における血清グルコースレベルの変動は Fig. 17 に示した。運動前の血清グルコースレベルは、牛乳摂取実験開始前と比較し牛乳摂取実験終了後に減少する様子にあった。また、牛乳摂取実験開始前は運動前と比較し運動後の値が減少する様子にあったが、牛乳摂取実験終了後は運動前と比較し運動後の値が有意に増加した ($p < 0.05$)。

E. 血清遊離脂肪酸

牛乳摂取実験開始前および牛乳摂取実験終了後の運動時における血清遊離脂肪酸レベルの変動は Fig. 18 に示した。牛乳摂取実験開始前、牛乳摂取実験終了後ともに運動前と比較し運動後で有意に増加したが、牛乳摂取実験終了後においてより顕著に増加することが認められた (牛乳摂取前; $p < 0.05$, 牛乳摂取後; $p < 0.01$)。

F. 血清 BCAA

牛乳摂取実験開始前および牛乳摂取実験終了後の運動時における血清 BCAA レベルの変動は Fig. 19 に示した。牛乳摂取実験開始前、牛乳摂取実験終了後ともに運動前と比較し運動後で増加する様子がみられ、牛乳摂取実験開始前においてその差は有意であった ($p < 0.05$)。

G. 血清バリリン

牛乳摂取実験開始前および牛乳摂取実験終了後の運動時における血清バリリンレベルの変動は Fig. 20 に示した。牛乳摂取実験開始前において、運動前と比較し運動後で有意に増加することが認められた ($p < 0.05$)。

H. 血清ロイシン

牛乳摂取実験開始前および牛乳摂取実験終了後の運動時における血清ロイシンレベルの変動は Fig. 21 に示した。牛乳摂取実験開始前において、運動前と比較し運動後で有意に増加することが認められた ($p < 0.05$)。

I. 血清イソロイシン

牛乳摂取実験開始前および牛乳摂取実験終了後の運動時における血清イソロイシンレベルの変動は Fig. 22 に示した。牛乳摂取実験開始前、終了後ともに運動前と比較し運動後で有意に増加することが認められた ($p < 0.05$)。

J. 血中 CK 活性

牛乳摂取実験開始前および牛乳摂取実験終了後の運動時における血中 CK 活性の変動は Fig. 23 に示した。牛乳摂取実験開始前、牛乳摂取実験終了後ともに運動前と比較し運動後で増加する傾向がみられたが、有意な差は認められなかった。また、運動前および運動後の値は、牛乳摂取実験開始前と比較し牛乳摂取実験終了後で高い様子にあったが、その差は有意ではなかった。

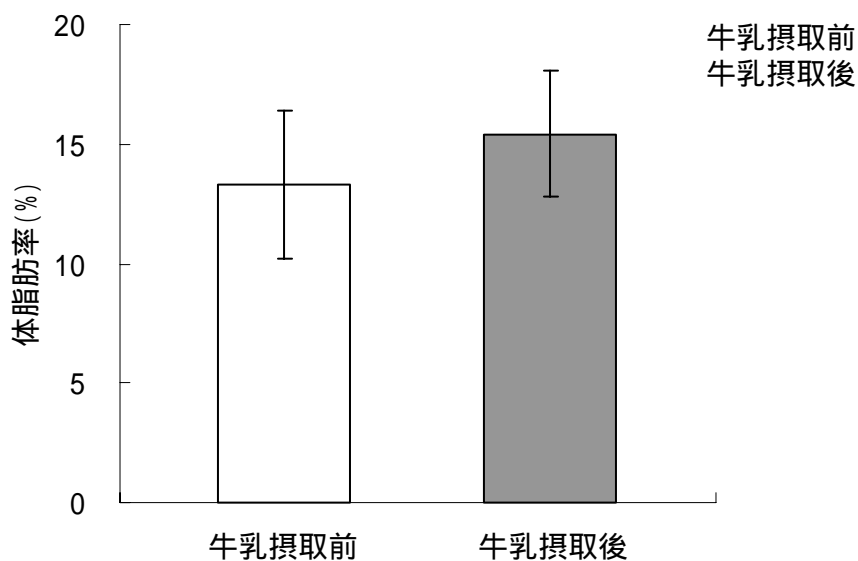


Fig. 14 45日間 (10/day) の牛乳摂取が体脂肪率に及ぼす影響

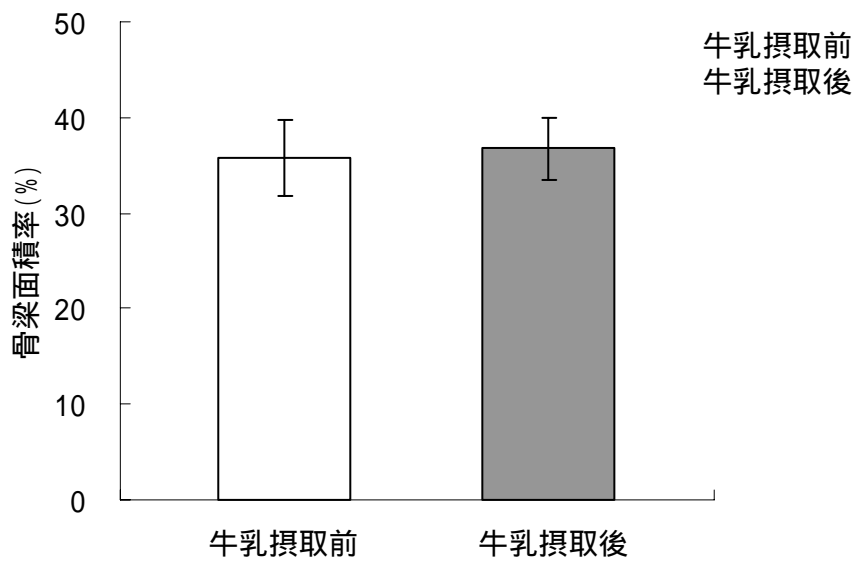


Fig. 15 45日間 (10/day) の牛乳摂取が骨梁面積率に及ぼす影響

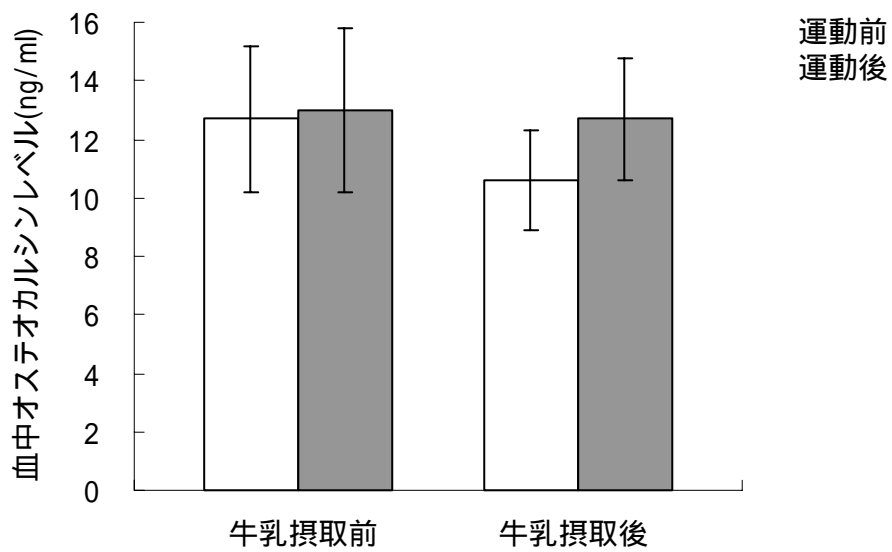


Fig. 16 45日間 (10/day) の牛乳摂取が運動時の血中オステオカルシンレベルに及ぼす影響

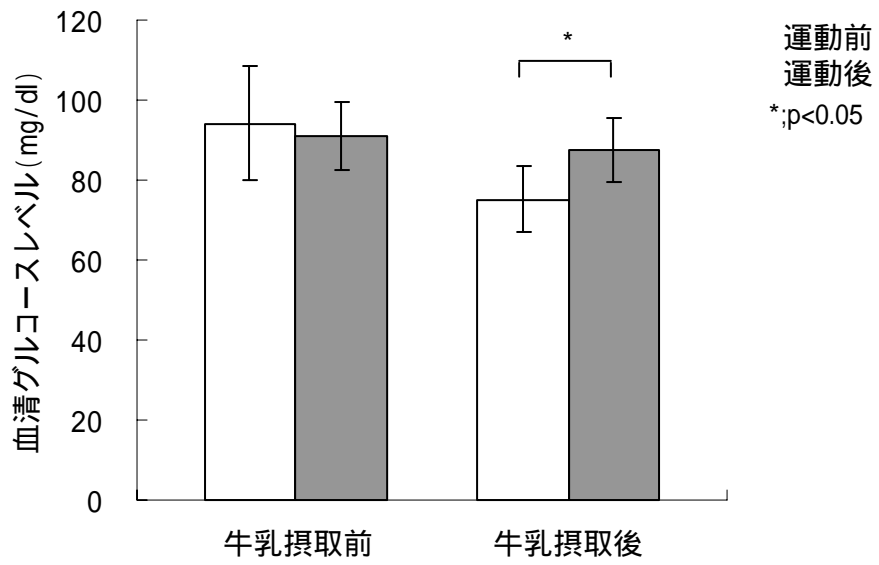


Fig. 17 45日間 (10/day) の牛乳摂取が運動時の血清グルコースレベルに及ぼす影響

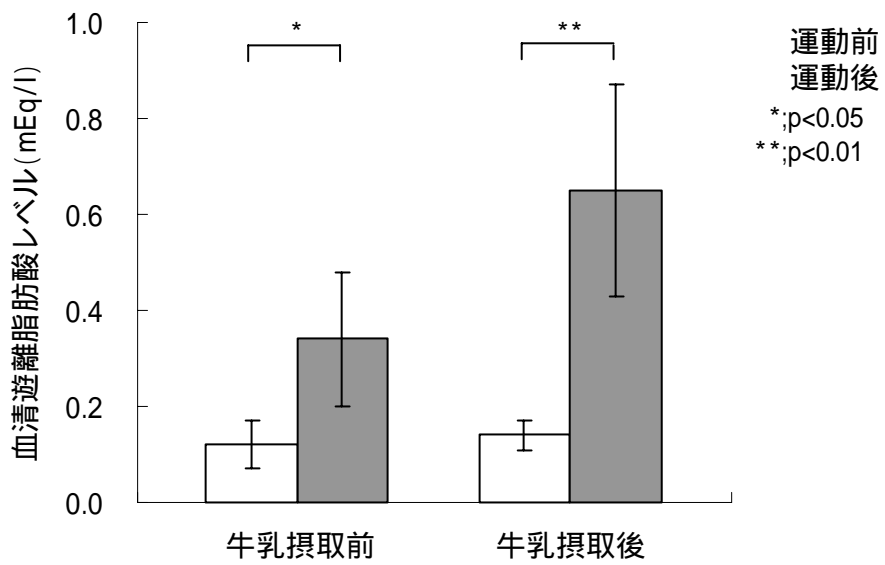


Fig. 18 45日間 (10/day) の牛乳摂取が運動時の血清遊離脂肪酸レベルに及ぼす影響

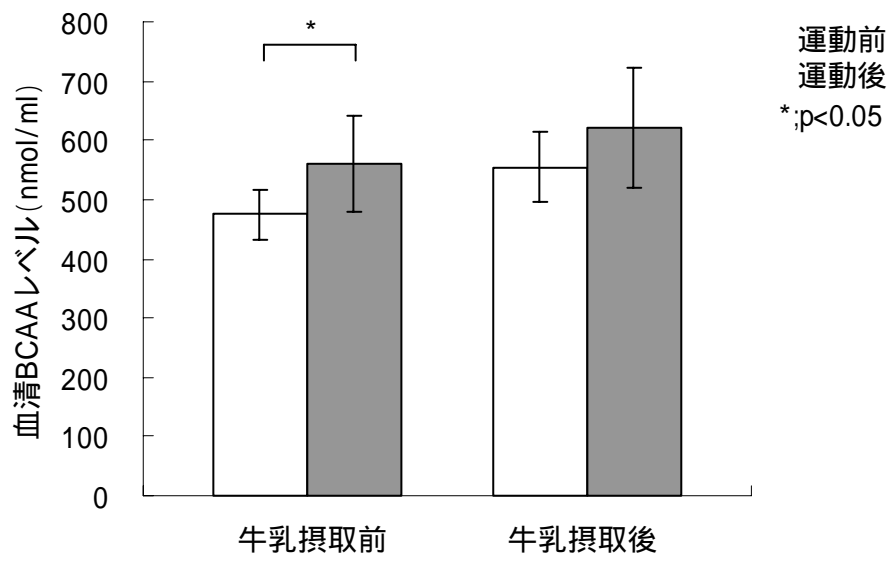


Fig. 19 45日間 (1ℓ/day) の牛乳摂取が運動時の血清 BCAA レベルに及ぼす影響

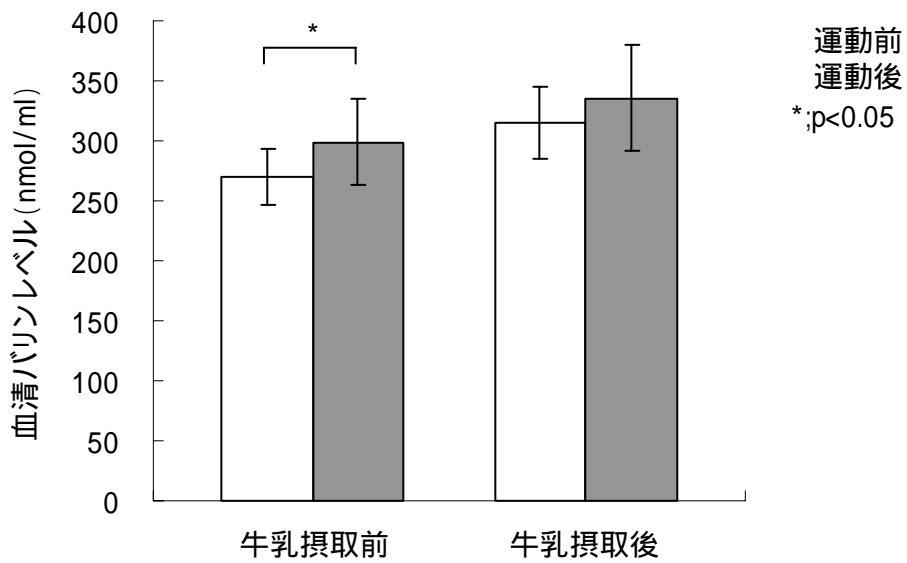


Fig. 20 45日間 (1ℓ/day) の牛乳摂取が運動時の血清バリンレベルに及ぼす影響

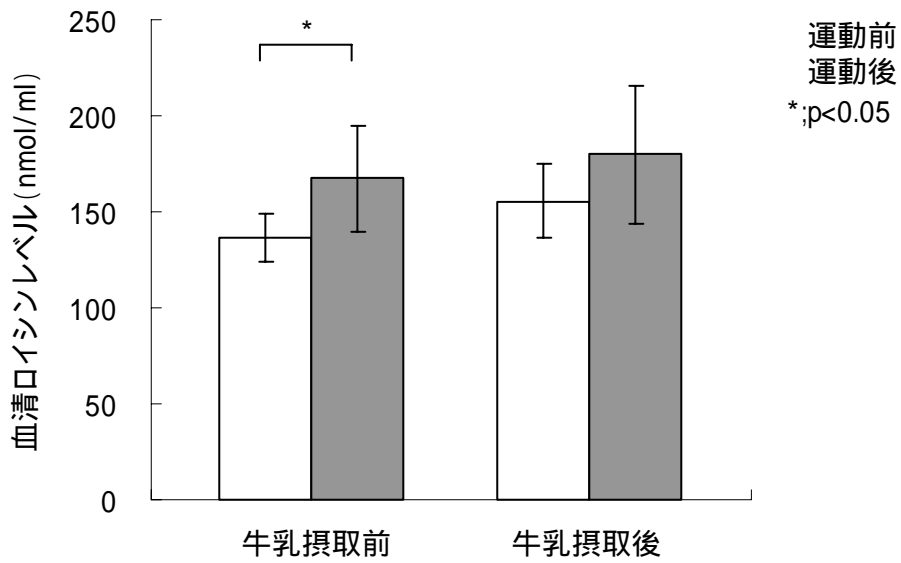


Fig. 21 45日間 (1ℓ/day) の牛乳摂取が運動時の血清ロイシンレベルに及ぼす影響

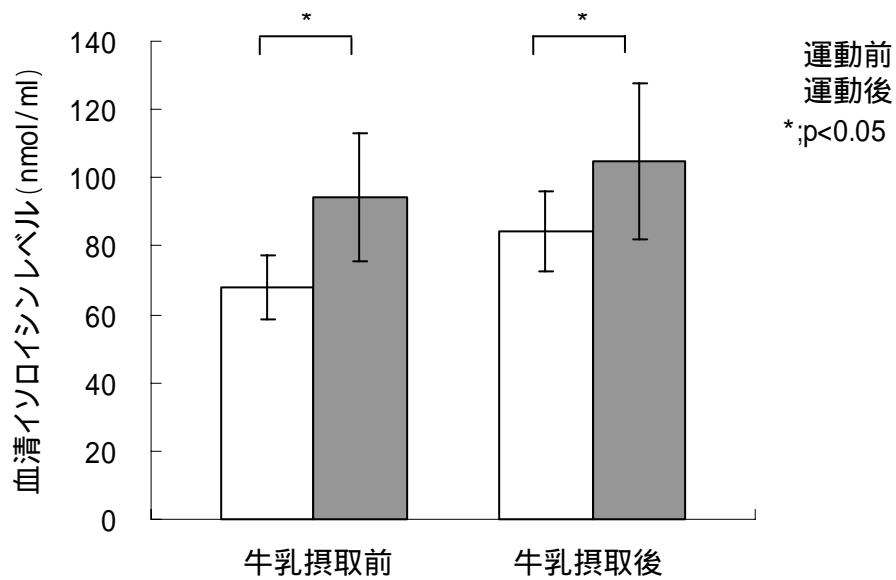


Fig. 22 45日間 (1ℓ/day) の牛乳摂取が運動時の血清イソロイシンレベルに及ぼす影響

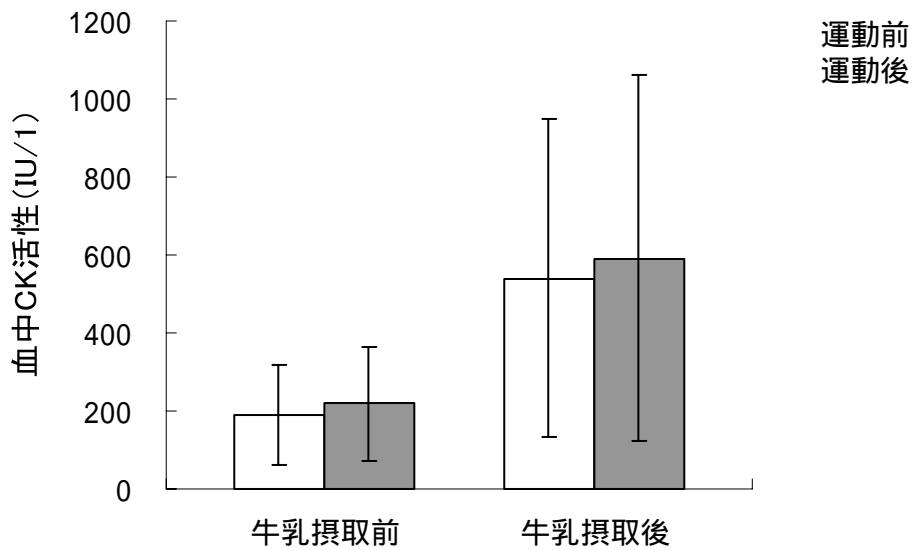


Fig. 23 45日間(1ℓ/day)の牛乳摂取が運動時の血中CKレベルに及ぼす影響

考 察

本研究では、まず栄養アセスメントとして、日常的な牛乳摂取が体脂肪率、骨梁面積率、血中オステオカルシン、血清グルコース、血清遊離脂肪酸、血清BCAA、血中CK活性に及ぼす影響について検討を行った。次に、栄養アセスメントに対する介入実験として、牛乳非常飲者を対象に45日間(1ℓ/day)の牛乳を摂取させ、日常的な牛乳摂取が及ぼす影響について検討を行った。

骨組織では常に再構築(リモデリング)が営まれ、「壊す」骨吸収が生じた分だけ「造る」骨形成を行い、骨量を維持している。骨と血液中のカルシウム平衡を保つことにより、血中カルシウム濃度の恒常性に貢献している。長期的には骨吸収と骨形成のバランス、すなわち骨からみたカルシウム収支により骨のカルシウム含量(骨塩量)が決定される。骨代謝マーカであるオステオカルシンなどの骨形成マーカとI型コラーゲンNテロペプチド(NTx)などの骨吸収マーカは、骨リモデリング状態を評価する指標である。しかし、骨代謝マーカは直接骨の状態を示す値ではないため、単独では実証的な根拠とはなりにくい。よって本研究で配慮したように、骨梁面積率や骨強度などの測定結果と併用して使うことにより、骨代謝に関わる体内環境をさらに詳しく精査することに導く主要な因子とすることができよう¹⁾。

骨芽細胞はオステオカルシンという特異的なタンパク質を合成してコラーゲン繊維の中に放出する。その一部は血中に流出するため、血清のオステオカルシンは骨芽細胞機能を反映し、骨形成の指標の一つである²⁾。本研究においては、結果で示したように血中オステオカルシンレベルは運動前と比較し運動後で増加する傾向にあった。前述した知見を考慮すると、このことは、運動により骨に刺激が与えられ、骨形成が活発に行われていることを物語る現象といえる。

近年、骨粗鬆症予防のためには日常生活における運動、食習慣における乳製品摂取が重要であるとする報告がなされている³⁾。本研究の栄養アセスメントにおいても牛乳常飲者、牛乳非常飲者とも対同性同年齢に比べて、高い数値を示しており、運動が骨量増大に好影響を与えていることが推測された。

また、骨量増大のためにはカルシウム摂取が大いに有効であるという研究が多くなされている。橋場ら⁴⁾は、男女とも規則正しく毎日3食摂取している群が不規則に摂取している群よりも骨密度が高い傾向を示していることを報告している。日常の食生活の中で乳製品摂取と骨密度の関係については、男女とも「ほぼ毎日取る」と答えた群が「取らない」と答えた群に比べて優位に高い値を示していることから、若年層における乳製品摂取が骨密度の強化を促すことに導くことを報告している。本研究の栄養アセスメントにおいても、結果に示すとおり、牛乳常飲群の骨梁面積率は牛乳非常飲群と比較して高い傾向が認められた。また、介入実験においても、牛乳摂取実験終了後の骨梁面積率は牛乳摂取実験開始前と比較して高い様子にあった。個別でみると、被験者6名のうち、3名の骨梁面積率が牛乳摂取実験終了後において上昇を示しており、45日間の牛乳摂取が骨密度の強化に導いた結果は非常に興味深いものといえる。

栄養アセスメントでは牛乳常飲群の方が牛乳非常飲群に比べ安静時血清グルコースレベルが低い様子にあった。また、介入実験では45日間(1ℓ/day)の牛乳摂取により、安静時血清グルコースレベルが低下する傾向がみられた。これまで、牛乳と血糖値に関する研究は杉山ら⁵⁾により牛乳・乳製品の摂取がグリセミックインデックス(GI)を低下させることが報告されている。GIとはある食品を食べたときに、それがどの程度血糖値をあげるかを数値化したものである。近年、GIと生体における血糖コントロールに関する研究が海外で行われており、低GI食を一定期間以上摂取すると、血糖コントロール状況を示す指標(ヘモグロビンA1c)が平均して7.4%減少したことが報告されている。低GI食は食品の組み合わせ方次第で実践可能である。これまでに杉山らは米飯と食品の組み合わせによるGIを測定し、報告している。それによれば、牛乳・乳製品を米飯と組み合わせた場合、GIを下げる事が明らかにされている。このGI低下のメカニズムについては、牛乳にインスリン分泌を促進させる働きがあり、そのことで血中グルコースの体内への取り込みが活性化されるために、血清グルコース値低下に導くものと考えられている。本研究の介入実験において、安静時血清グルコース値は牛乳摂取実験開始前の94.2mg/dlから、牛乳摂取実験終了後は75.2mg/dlに低下した。このことは実験期間中、普段の食生活に加え牛乳を摂取したことで低GI食としての機能性を発揮した結果、安静時血清グルコース値が下がったと考えることもできよう。

また、介入実験において、血清遊離脂肪酸レベルの増加率が、牛乳摂取実験開始前の341%から牛乳摂取実験終了後には470%に上昇した。一般に、脂肪酸酸化利用は筋肉で主体的に行われることが知られている。筋肉の脂肪酸酸化利用能力が筋肉の質に依存するとするならば、筋肉タンパク質の合成のあり方がまず問われるところであろう。筋肉タンパク質の合成は質・量的に優れたタンパク質によって支配されている。本研究において、質・量的に優れたタンパク質である牛乳を恒常的に

摂取したことで、筋肉のタンパク質合成を通して、より豊かな機能性を備えた筋肉に改善されたことも考えられる。また、エネルギー代謝系に関わりを持つ一連の酵素はタンパク質で構成されている。本研究は良質のタンパク質である牛乳を恒常的に摂取したことを通して、この酵素タンパク質の合成に対して影響を及ぼし、運動時のエネルギー生成の活性化に導いたことも考えられよう。

一般的に、運動によって筋タンパクは分解され、その分解によって損傷した筋肉の修復には、アミノ酸やタンパク質の補給が必要⁶⁾とされており、その中でも、必須アミノ酸の補給がとりわけ重要であることが報告されている⁷⁾。必須アミノ酸の中でも、BCAAは筋肉においてよく酸化利用される⁸⁾ことが明らかにされており、運動時には血中のBCAA濃度は低下し⁹⁾¹⁰⁾、同時に筋肉中のBCAA分解は促進されることが報告されている¹¹⁾。しかし、ラットを対象にした実験ではあるが、Harrisらは、高脂肪食の添加と運動の組み合わせが、ラットの血清BCAAレベルに及ぼす影響について検討を行っており、運動後での血清BCAAレベルの上昇を認めている。また、人を対象にした実験においても、Rennieは、60分未満の運動(75~110%VO_{2max})では、血清BCAAレベルは変動を示さないことを報告している。これらの先行研究から認められるように、食質や運動強度などの様々な要因によって、運動を負荷した場合での生体における血清BCAAレベルの動態は、必ずしも一定のパターンで変動を示すものではない。

Danginらは、血中アミノ酸濃度が上昇している間、体タンパク分解は抑制されるが、血中アミノ酸濃度が低下すると体タンパク分解の抑制が弱まることを報告している¹²⁾。一般的に循環血液中の血漿アミノ酸濃度は、体内の貯蔵タンパクからのアミノ酸の遊離と種々の組織におけるアミノ酸利用のバランスによって恒常的濃度に維持されることが明らかにされている¹³⁾ことから、Danginらの知見は、血中のアミノ酸レベルの低下により肝臓を含めた体タンパク分解が促され、その分解によって生じたアミノ酸を血中に放出することで、アミノ酸の循環血中濃度が維持されることを示唆している。本研究の栄養アセスメントにおいても、牛乳非常飲群が運動後で血清BCAAレベルの上昇を示したことについては、激運動による筋タンパク分解に伴う血中BCAAレベルの低下に対し、肝臓からのアミノ酸の血中への放出が促進されたことが推測される。したがって、肝臓が消耗した筋タンパクへの即効的な機能性を発揮し、高いレベルで血中BCAAレベルを維持することで、筋タンパクの保全及び分解の抑制に貢献した可能性も考えられよう。一般的に生体におけるアミノ酸やタンパク質の役割は、体組織を構築する土台として機能すべきものであり、組織の機能性を保つためには、エネルギーとしての利用は可能な限り抑えられながら運動が遂行されるべきであろうと考えられる。したがって、運動後で血清BCAAレベルの増加を認めた牛乳非常飲群に対し、牛乳常飲群は運動後で減少傾向を示した事は非常に興味深い結果であり、日常的な牛乳摂取が、エネルギー利用としての体タンパク分解の抑制に貢献した可能性が考えられる。また、45日間の牛乳摂取による血清遊離脂肪酸の増加率が、牛乳摂取前の341%から牛乳摂取後には470%に上昇したことを認めている。さらに、高タンパク質食を摂取させたマウスではグリコーゲン分解が抑制され、糖新生が活発化し、エネルギー基質として脂肪酸の酸化利用が亢進されることも報告されている⁸⁾。このことは、摂取

タンパク質レベルが脂肪酸酸化の活性化に対して顕著に関与することが示唆されているのである。血清遊離脂肪酸は貯蔵脂肪から分解されて血中に放出されるが、その際、生体で酸化利用されるレベルは血中濃度に比例すると言われている¹⁴⁾¹⁵⁾が、血中の遊離脂肪酸レベルは筋肉を中心とした末梢組織での脂肪酸の利用度を反映するものである。従来、組織中のグリコーゲン分解を抑え、脂肪酸を積極的に酸化利用する体内環境が持久力の発現を促すとの報告もあることから、生体における脂肪酸のエネルギー利用の有用性が示唆されている。本研究の栄養アセスメントにおいても、牛乳常飲群の運動後で血清 BCAA レベルが一般的な減少傾向を示したことは、激運動による筋タンパク分解に伴って、血中の BCAA が損傷した筋肉の保全のために積極的に利用されたことやエネルギーとして消費されたことが推測できる。しかし、その筋肉内でのエネルギー需要の高まりに対しては、貯蔵脂肪からの脂肪酸の血中へのリリースを促進させる事で、できるだけ体タンパクの分解をすることなく円滑なエネルギー代謝が行われた可能性が考えられる。したがって、激運動による筋タンパクの分解に伴い、脂肪酸を主体的にエネルギー利用することで、体タンパク分解によるアミノ酸のエネルギー利用を抑制し、結果として体組織の機能性を保ちながら運動が遂行された可能性も推測される。本研究の介入実験結果においても、45 日間の牛乳摂取によって運動後での血清 BCAA レベルの上昇が抑制されたことは、激運動により生じた筋肉内でのエネルギー需要の高まりを血中に遊離するアミノ酸や貯蔵脂肪からの脂肪酸に依存することで、体タンパクの維持に努めたことも考えられる。したがって、アスリートにおいては、運動負荷による筋肉の鍛錬と同時に、質的に優れたタンパク質である牛乳を摂取し、体たんぱく質の保持や脂肪酸の酸化利用を中心とした能力を亢進させ得る、機能的に優れた筋肉を作り上げることはアスリートにおけるスポーツライフの基本の一つであろう。

参考文献

- 1) 板橋明：乳塩基性たんぱく質（MBP）の骨代謝改善効果—健康女性を対象とした引用試験— 16, 2001
- 2) 西田弘之、鷲野嘉映、杉浦春雄、麻草淳、山本浩貴、久世早苗：男子高校生の右踵骨骨密度と日常活動量および運動能力との関係 岐阜薬科大学基礎教育系紀要 第 17 号 35-51, 2005
- 3) 田中淳子、小寺さやか、渡邊温美、豊島博子、松本雅美、人見晃代、日野原恵子、大槻彌壽男、細見恵、弓削マリ子、東あかね、加藤卓次、森田益次：高校生の骨密度とそれに影響を及ぼす要因の検討 京府医大短紀要 10 133-139, 2000
- 4) 橋場有哉、吉田智美、塩野祐也、檀上弘晃、劉雲発、鉄口宗弘、三村寛一：若年期における骨密度と生活習慣との比較 第 19 回日本体力医学会近畿地方会 200 2006
- 5) 杉山みち子・天野由紀：グリセミックインデックスと乳製品, 乳業技術, 54, 38-45, 2004
- 6) 屋代正範：食へのアプローチがゴルフライフを変革する, 日本文学館, 163, 2004

- 7) 山口真:牛乳タンパク質の機能 ホエイタンパク質およびホエイペプチドの特長と抗炎症作用,
Milk Science ,54, 3, 2005
- 8) 屋代正範、木村修一：マウスにおける長期間の摂取タンパク質レベルおよび自由運動の栄養生理的効果, 栄養と食糧, 35(5), 357-362, 1982
- 9) 中谷昭、清水悟、飯田進：高脂肪食摂取が持久的運動能力およびミトコンドリア酵素におよぼす影響, 日本体力医学会, 体力科学, 48(6), 968, 1999
- 10) 中谷昭、水本大樹：長期の高脂肪食摂取が持久的運動時のエネルギー基質に及ぼす影響, 日本体力医学会, 体力科学, 53, 735, 2004
- 11) SRS 八王子ラボラトリー 総合検査案内 103-105, 2006
- 12) Dangin, M. et al. :The digestion rate of protein is an independent regulating factor of postprandial protein retention. Am. J. Pysiol. Endocrinol. Metab. 280:p340-348 (2001)
- 13) 上代淑人(訳)：ハーパー生化学, 原書 25 版, p345 (2000)
- 14) Paul. P, and Issekutz. B. Jr :Appl. Physiol, 22, 615, (1967)
- 15) Jansson. E, and Kaijser. L :Acta. Physiol. Scand, 115, 19, (1982)