

女子大学生の長距離走選手における牛乳・乳製品の摂取による 体構成成分の改善・保持に関する介入研究

横浜国立大学 教育人間科学部

金子 佳代子

研究代表者：金子 佳代子 (横浜国立大学・教育人間科学部・教授)

研究分担者：熊江 隆 ((独) 国立健康・栄養研究所・健康増進研究部・室長)
高田 和子 ((独) 国立健康・栄養研究所・健康増進研究部・主任研究員)
小暮 寛子 ((独) 国立健康・栄養研究所・健康増進研究部・臨時職員)
北村 実穂子 (横浜国立大学大学院・教育人間科学研究科・修士課程1年)

研究協力者：伊藤 孝 (日本体育大学・学長)
石井 隆士 (日本体育大学・体育学部・陸上競技 駅伝部監督・助教授)
大森 佐與子 (大妻女子大学・社会情報学部・社会環境情報学・教授)
堀 美稚 (大妻女子大学・加賀寮・寮監長)

I. はじめに

本研究においては女子大生を対象に、運動群として長距離走の競技選手を被験者とし、牛乳・乳製品の摂取による体構成成分の改善あるいは高強度トレーニング期間における除脂肪体重の保持に関する介入研究を行う事を計画した。対照群として体格 (Body Mass Index (BMI)) が運動群に近く運動習慣のない一般学生を被験者とした。運動習慣のない若年女性においては、やせ傾向による骨密度への影響が懸念される一方で、皮下脂肪量の多い隠れ肥満の存在が指摘されている。したがって、対照群とする一般学生の場合には隠れ肥満に近い者も存在すると考えられ、牛乳の摂取による隠れ肥満の改善に関する介入研究の予備的知見が得られる可能性も考えられた。

これらの被験者に対し、牛乳摂取による除脂肪組織及び体脂肪量の変動への影響を骨リモデリングに要する期間を考慮し、6ヶ月間の介入研究を行った。摂取開始時、摂取3ヶ月後、及び摂取6ヶ月後の3回、二重エネルギーX線吸収法 (DEXA) による骨密度の測定を含む体格・体構成成分の測定を行い、同時に採血を行って一般血清生化学検査に加えて血漿中アディポサイトカイン濃度

と血清総抗酸化能を測定した。さらに、生活・身体状況及び心理状況・疲労に関するアンケートを行った。

Ⅱ. 研究成果

1. 被験者（身体計測、身体活動量）

1) 被験者

本研究においては女子大生を対象に、運動群として長距離走の競技選手を被験者とし、対照群として体格（Body Mass Index (BMI)）が運動群に近く運動習慣のない一般学生を被験者とした。本研究は、横浜国立大学の倫理委員会に申請し、許可を得た。

運動群としては、全国大学女子駅伝に毎年出場し10位以内を維持している大学女子陸上部に所属する中長距離選手で、合宿所で共同生活を行っているものを対象とした。また、合宿所の近くで自宅生活を行っている選手6名も研究への参加を希望したので対象者とした。対象者には、研究目的と内容を十分に説明し、インフォームド・コンセントを得た後に文書にて同意を確認した。また、運動群は、本人の希望によって牛乳を毎日500mL（250mLのロングライフ牛乳2個）摂取する群（運動+摂取群）と非摂取群（運動+非摂取群）に分かれてもらった。両運動群共に部活動以外での練習量を毎日記録させた。運動+摂取群は10名（2名が自宅）、運動+非摂取群は11名（4名が自宅）で研究を開始したが、3ヶ月目の調査後に運動+非摂取群から1名が棄権した。したがって、統計的な検定等は運動+摂取群10名と運動+非摂取群10名の計20名で行った。

対照群としては、某女子大学の学生寮で集団生活を行っている女子学生を対象に、体格が両運動群に近いものとするために、Body Mass Index (BMI)が18.5から20.0の間の者を対象者とした。研究への参加を希望した対象者に研究目的と内容を十分に説明し、インフォームド・コンセントを得た後に文書にて同意を確認した。また、牛乳を毎日500mL（250mLのロングライフ牛乳2個）摂取することを条件とし、対照+摂取群とした。学生寮に居住している21名で研究を開始したが、3ヶ月目の調査前に1名が退寮、6ヶ月目の調査前に2名が退寮した。退寮者も研究への継続参加を希望したので、被験者として取り扱い統計的な検定等は対照+摂取群21名で行った。

統計的検定方法としては、運動+摂取群、運動+非摂取群、及び対照+摂取群の3群において、調査時期と群での二元配置分散分析（ANOVA）を行った。運動+摂取群と運動+非摂取群の各測定項目別の比較には対応の無いt-検定を用いた。6ヶ月間の変動を各群毎に検定する際には、ANOVAのRepeated Measuresを行った。

2) 被験者の身体計測

身体計測は、摂取開始時、摂取3ヶ月後、摂取6ヶ月後の3回行った。体重及び体脂肪率はタニタ社製体脂肪計（Inner Scan）を用いて測定し、体脂肪率はインピーダンス法（標準モード）で測定した。また、身長及び体重からBMIを算出し、インピーダンス法で測定した体脂肪率を基に脂肪重量を算出し、体重から差し引いた除脂肪体重（FFM）を求めた。

表1に身体計測の測定項目の変動を示した。運動+摂取群、運動+非摂取群、及び対照+摂取群の3群において、調査時期と群での二元配置分散分析を行ったが、体脂肪(%)には群 ($p<0.001$) に、体水分(%)にも群 ($p<0.05$) に、除脂肪体重(FFM)にも群 ($p<0.05$) に、有意差が認められた。しかし、年齢、身長、体重、及びBody Mass Index (BMI)に有意差はなかった。一方、運動+摂取群と運動+非摂取群を比較すると、体脂肪(%)でのみ3ヶ月後に有意差 ($p<0.05$) が認められた。

表1. 身体計測の測定項目の変動。

項目	運動+摂取群			運動+非摂取群			対照+摂取群		
	摂取開始	3ヶ月後	6ヶ月後	摂取開始	3ヶ月後	6ヶ月後	摂取開始	3ヶ月後	6ヶ月後
年齢 (歳)	18.9 (0.7)	19.2 (0.6)	19.6 (0.7)	19.3 (1.1)	19.6 (1.2)	19.9 (1.1)	18.9 (0.9)	19.1 (1.0)	19.4 (1.0)
身長 (cm)	156.8 (4.7)	157.2 (4.5)	156.9 (4.7)	156.3 (5.4)	156.8 (5.2)	156.4 (5.4)	158.5 (6.2)	158.6 (6.4)	158.3 (6.3)
体重 (kg)	50.0 (4.3)	49.1 (3.8)	50.4 (4.4)	48.0 (4.1)	48.0 (4.7)	48.9 (5.4)	48.7 (5.7)	49.5 (5.9)	49.5 (5.8)
BMI	20.3 (1.8)	19.9 (1.7)	20.5 (1.8)	19.7 (1.4)	19.5 (1.6)	20.0 (2.0)	19.3 (1.2)	19.6 (1.4)	19.7 (1.4)
体脂肪 (%)	22.9 (3.5)	21.3 (4.2)	23.5 (3.8)	18.4 (4.8)	18.0 (5.4)	20.2 (6.3)	23.6 (3.1)	25.3 (3.0)	25.7 (3.0)
体水分 (%)	28.2 (1.9)	28.2 (1.8)	27.7 (2.4)	28.7 (2.4)	28.7 (2.2)	28.5 (2.5)	27.2 (3.0)	27.0 (3.1)	26.9 (3.0)
FFM (kg)	38.4 (2.6)	38.6 (2.5)	38.4 (2.6)	39.1 (3.3)	39.2 (3.1)	38.9 (3.4)	37.1 (4.1)	36.9 (4.3)	36.7 (4.1)

数値は平均値。カッコ内は標準偏差。

次に、6ヶ月間の変動を各群毎に検定した。運動+摂取群では身長の摂取開始と3ヶ月後の間 ($p<0.05$) に、体重の3ヶ月後と6ヶ月後の間 ($p<0.05$) に、BMIの摂取開始と3ヶ月後の間及び3ヶ月後と6ヶ月後の間 (共に $p<0.05$) に、体脂肪(%)の3ヶ月後と6ヶ月後の間 ($p<0.05$) に、有意差が認められた。一方、運動+非摂取群では身長の摂取開始と3ヶ月後の間 ($p<0.01$) 及び3ヶ月後と6ヶ月後の間 ($p<0.05$) に、BMIの3ヶ月後と6ヶ月後の間 ($p<0.05$) に、体重の3ヶ月後と6ヶ月後の間 ($p<0.05$) に、体脂肪(%)の摂取開始と6ヶ月後の間 ($p<0.05$) 及び3ヶ月後と6ヶ月後の間 ($p<0.01$) に、有意差が認められた。さらに、対照+摂取群では身長の3ヶ月後と6ヶ月後の間 ($p<0.01$) に、体重の摂取開始と3ヶ月後の間及び摂取開始と6ヶ月後の間 (共に $p<0.05$) に、BMIの摂取開始と3ヶ月後の間及び摂取開始と6ヶ月後の間 (共に $p<0.05$) に、体脂肪(%)の摂取開始と3ヶ月後の間及び摂取開始と6ヶ月後の間 (共に $p<0.001$) に、体水分(%) の摂取開始と6ヶ月

後の間 ($p<0.05$) に、FFMの摂取開始と6ヶ月後の間 ($p<0.05$) に、有意差が認められた。

3) 被験者の身体活動量

日常の身体活動量の調査として、摂取開始時、摂取3ヶ月後、摂取6ヶ月後の3回の食事調査期間中に最低1週間にわたり、起床から就寝までの間ライフコーダー (EX、スズケン) を腰部に装着して歩行数を連続計測した。ただし、運動群においては、陸上競技部の練習時には装着しなくても良いこととし、練習時の走行距離を記録してもらった。運動群の走行距離は、運動+摂取群が $15.2\pm 6.5\text{km/日}$ 、運動+非摂取群が $11.5\pm 7.4\text{km/日}$ であるが、全体を通して個人差が大きく、少ない人で2km/日程度、多い人で平均して20km/日を超える距離を走っていた。

各群の歩行数の変化を図1に示した。

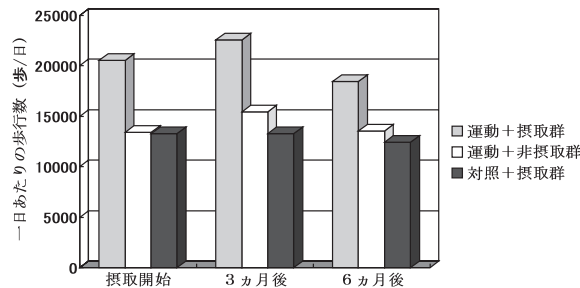


図1. 一日あたりの歩行数の変化

運動+摂取群、運動+非摂取群、及び対照+摂取群の3群において、調査時期と群での2元配置分散分析を検討したが、有意差はなかった。また、運動+摂取群、運動+非摂取群の間には、摂取開始時、摂取3ヶ月後、摂取6ヶ月後のいずれにおいても、運動群+摂取群が有意 ($p<0.05$) に高い値を示した。各群毎に6ヶ月間の変動を検定したが、摂取開始時、摂取3ヶ月後、摂取6ヶ月後の時期による有意な差は見られなかった。

なお、歩行数の測定を行った摂取開始時は3群全てが前期授業期間中で通常の学生生活期間であり、両運動群では陸上競技部の練習が行われていた。摂取3ヶ月後は大学間のカリキュラム編成の違いにより、両運動群では夏期休暇の期間中で陸上競技部の夏期合宿が行われ、走り込みが行われている時期であった。一方、対照+摂取群では後期授業が開始され、通常の学生生活に戻った時点であった。摂取6ヶ月後は3群全てが通常の学生生活期間であったが、両運動群では全国大学駅伝終了後で本格的な試合期間が終わった後であったが、一部の選手では試合に出るために継続的にトレーニングを行っていた。

2. 生活・身体状況に関するアンケート

6ヶ月間の介入研究において、摂取開始時、摂取3ヶ月後、及び摂取6ヶ月後の3回、身体計測、

基礎代謝量の測定と同時に生活・身体状況に関するアンケートを行った。

既往歴をみると、運動+摂取群では10名中で骨折・疲労骨折が延べ6例、前十字靭帯不全断裂、膝半月板手術、運動誘発性喘息が各1例、報告されていた。運動+非摂取群では10名中で骨折・疲労骨折が延べ11例、脛骨過労性骨膜炎（シンスプリント）が延べ3例、貧血、盲腸が各1例、報告されていた。一方、対照+摂取群においては21名中で骨折・疲労骨折が延べ4例と両運動群に比較して少なかった。また、ヘルニア、喘息、肺炎、熱中症、そくわん症、貧血が各1例、報告されていた。

喫煙習慣については、運動+摂取群と運動+非摂取群に該当者はおらず、対照+摂取群にのみ現在も喫煙中が1名、過去にあったと答えたものが1名存在した。飲酒習慣に関しては、「お酒を飲むことがありますか」という設問に対して、「ある」と回答した者が、運動+摂取群に4名、運動+非摂取群に1名、対照+摂取群に13名おり、飲酒開始年齢は平均17.4歳（標準偏差1.8歳）であった。

生理に関する質問において、初経年齢は運動+摂取群で平均12.9歳（標準偏差1.0歳）、運動+非摂取群で平均12.5歳（標準偏差1.0歳）、対照+摂取群で平均12.3歳（標準偏差1.4歳）と3群全てでほぼ同一であった。現在の生理の状況については、「不順」及び「止まっている」と回答した者が運動+摂取群では1回目5名（50.0%）、2回目3名（30.0%）、3回目3名（30.0%）であり、運動+非摂取群では3回の調査全てで5名（50.0%）であった。一方、対照+摂取群では1回目10名（47.6%）、2回目6名（28.6%）、3回目8名（38.1%）であり、3群でほとんど差は無かった。

減量に関しては、「経験あり」と回答した者が運動+摂取群では9名（90.0%）おり、最若年では13歳からであった。運動+非摂取群でも「経験あり」と回答した者は9名（90.0%）であり、最若年では15歳であった。一方、対照+摂取群では「経験あり」と回答した者は8名（38.1%）であり、最若年では15歳であった。減量の開始年齢には3群でほとんど差は無かったが、両運動群では対照+摂取群に比較して減量の経験者は2倍以上になっていた。

ビタミン剤、鉄剤、プロテイン、健康補助食品などの使用状況に関しては、3回行ったアンケートでの変動が大きかった。3回の平均でみれば、1種類だけ使用している者が3群全て3.33名と同数であり、2種類使用している者は運動+摂取群で0.33名（3.3%）、運動+非摂取群で1.00名（10.0%）、対照+摂取群で1.33名（6.3%）、さらに3種類（以上を含む）使用している者は運動+摂取群と運動+非摂取群は同数の0.33名（3.3%）、対照+摂取群で1.67名（7.9%）であった。対照+摂取群は、両運動群に比較して1種類だけを使用している者は約半数と少ないが、3種類（以上を含む）を使用している者は逆に2倍以上になっていた。

表2に睡眠時間（睡眠）の変動を示した。運動+摂取群、運動+非摂取群、及び対照+摂取群の3群において、調査時期と群での二元配置分散分析を行ったが、有意差はなかった。一方、運動+摂取群と運動+非摂取群を比較すると、6ヶ月後に有意差（ $p<0.05$ ）が認められた。次に、6ヶ月間の変動を各群毎に検定した。運動+摂取群と運動+非摂取群には有意の変動はなかった。一方、対照+摂取群では摂取開始と3ヶ月後の間に有意差（ $p<0.05$ ）が認められた。

表2. 生活・身体状況に関するアンケート項目の変動。

項目	運動+摂取群			運動+非摂取群			対照+摂取群		
	摂取開始	3ヶ月後	6ヶ月後	摂取開始	3ヶ月後	6ヶ月後	摂取開始	3ヶ月後	6ヶ月後
睡眠	5.85 (0.53)	5.95 (0.69)	5.75 (0.43)	5.85 (0.41)	5.90 (0.32)	6.10 (0.21)	5.91 (0.96)	6.38 (0.89)	6.05 (0.77)
中学	2.40 (1.19)	1.94 (0.61)	2.01 (0.66)	2.81 (1.56)	3.03 (1.65)	2.78 (1.63)	2.43 (0.98)	1.89 (0.62)	2.08 (0.99)
高校	2.52 (0.58)	2.49 (0.58)	2.43 (0.35)	2.22 (0.63)	2.73 (0.77)	2.51 (0.66)	1.96 (1.16)	2.13 (1.36)	1.87 (0.93)
大学	3.34 (0.91)	1.85 (1.28)	2.53 (1.00)	3.09 (0.88)	2.68 (0.89)	2.45 (1.43)	0.65 (0.80)	0.69 (0.79)	0.70 (0.78)

数値は平均値。カッコ内は標準偏差。

運動経験と現在の運動の状況に関する質問において、中学時代（中学）と高校時代（高校）の運動種目、1回の運動時間、頻度、継続期間を聞き取り、1回の運動時間と頻度をもとに1日当りの運動時間を算出して表1に示した。中学で既に陸上競技を開始した者が、運動+摂取群では9名、運動+非摂取群でも9名であり、競技開始年齢が低いことが示唆される。また、対照+摂取群でも中学、高校時代は両運動群と同程度の運動時間があったが、現在の運動の状況（大学）では著しく低下したことが示された。

健康に関して気をつけているかとの質問に対しては、「はい」と回答した者が運動+摂取群では3回の調査全てで6名（60.0%）であり、運動+非摂取群では1回目7名（70%）、2回目9名（90.0%）、3回目9名（90.0%）であった。一方、対照+摂取群では1回目15名（71.4%）、2回目13名（61.9%）、3回目15名（71.4%）であり、運動+非摂取群が最も健康に対して関心を持っている傾向が示された。

また、調査を繰り返すことで教育効果が出ることが期待された。そこで、「前回の調査以降に食事や身体活動量が変化したと思いますか」との質問を設けた。「はい」と回答した者は、運動+摂取群では2回目、3回目共に2名（20.0%）であった。運動+非摂取群では2回目は1名（10%）であったが、3回目4名（40.0%）になった。一方、対照+摂取群では2回目6名（28.6%）、3回目5名（23.8%）であった。運動+非摂取群が最も健康に対して関心を持っている傾向が示されており、この質問でも運動+非摂取群で教育効果が出た可能性が示唆される。

3. 心理状況・疲労に関するアンケート

6ヶ月間の介入研究において、摂取開始時、摂取3ヶ月後、及び摂取6ヶ月後の3回、採血と同時に心理状況・疲労に関するアンケートを行った。心理状況・疲労に関するアンケートとして、Profile of Mood State (POMS)と産業衛生学会の主観的疲労度調査を用いた。

POMSは得点をT-Scoreに変換した後に統計的検討を行った。図2にPOMSの緊張の結果を示した。運動+摂取群、運動+非摂取群、及び対照+摂取群の3群において、調査時期と群での二元配置分

散分析に有意差はなかった。また、運動+摂食群と運動+非摂食群の間には、3回の調査全てにおいて有意差はなかった。6ヶ月間の変動を各群毎に検定したが、運動+摂食群と運動+非摂食群の2群には有意の変動はなかった。一方、対照+摂食群においては、摂食開始と3ヶ月後の間、及び摂食開始と6ヶ月後の間に有意差（共に $p<0.001$ ）が認められた。

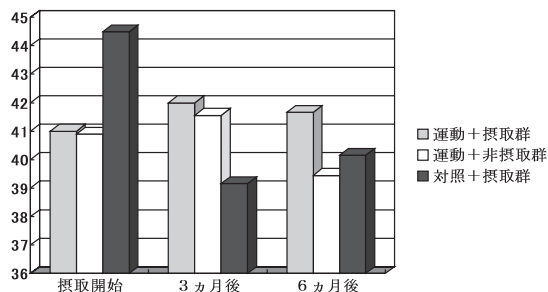


図2. POMSの緊張の変化

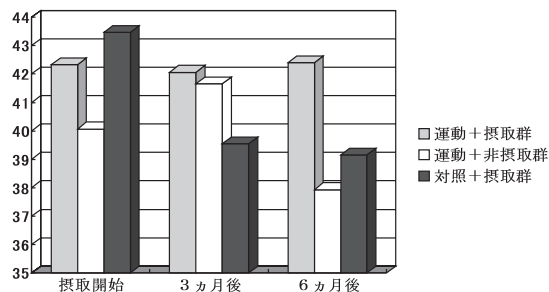


図3. POMSの抑鬱の変化

POMSの抑鬱の結果を図3に示した。3群で調査時期と群の二元配置分散分析を検討したが、有意差はなかった。また、運動+摂食群と運動+非摂食群の間に有意差はなかった。6ヶ月間の変動を各群毎に検定したが、運動+摂食群には有意の変動はなかった。一方、運動+非摂食群には3ヶ月後と6ヶ月後の間に有意差（ $p<0.05$ ）が認められた。対照+摂食群では摂食開始と3ヶ月後の間、及び摂食開始と6ヶ月後の間に有意差（共に $p<0.01$ ）が認められた。

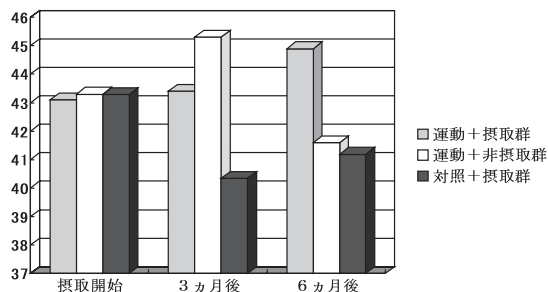


図4. POMSの怒りの変化

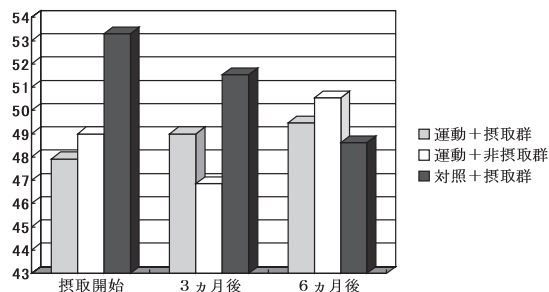


図5. POMSの元気の変化

図4にPOMSの怒りの結果を示した。3群で調査時期と群の二元配置分散分析を検討したが、有意差はなかった。また、運動+摂食群と運動+非摂食群の間に有意差はなかった。研究期間中の変動を各群毎に検定したが、運動+摂食群と運動+非摂食群の2群には有意の変動はなかった。一方、対照+摂食群においては、摂食開始と3ヶ月後の間（ $p<0.01$ ）、及び摂食開始と6ヶ月後の間（ $p<0.05$ ）に有意差が認められた。

POMSの元気の結果を図5に示した。3群で調査時期と群の二元配置分散分析を検討したが、有意差はなかった。また、運動+摂食群と運動+非摂食群の間に有意差はなかった。研究期間中の変動を各群毎に検定したが、運動+摂食群と運動+非摂食群の2群には有意の変動はなかった。一方、対照+摂食群においては、摂食開始と6ヶ月後の間（ $p<0.05$ ）に有意差が認められた。

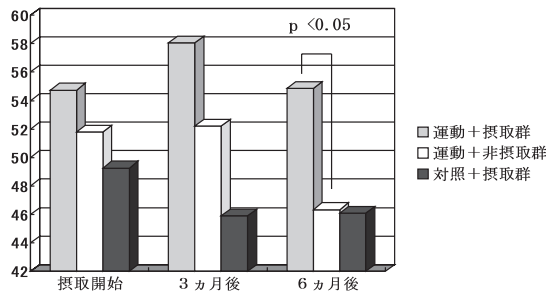


図 6. POMSの疲労の変化

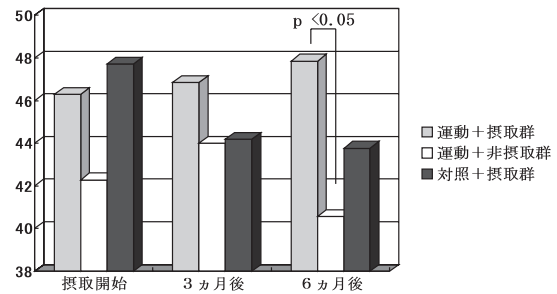


図 7. POMSの混乱の変化

図 6 にPOMSの疲労の結果を示した。3 群で調査時期と群の二元配置分散分析を検討したが、群に有意差 ($p < 0.001$) が認められた。また、運動+摂取群と運動+非摂取群の間にも 6 ヶ月後に有意差 ($p < 0.05$) が認められた。研究期間中の変動を各群毎に検定したが、運動+摂取群と対照+摂取群の 2 群には有意の変動はなかった。一方、運動+非摂取群においては、摂取開始と 6 ヶ月後の間 ($p < 0.01$) 及び 3 ヶ月後と 6 ヶ月後の間 ($p < 0.01$) に有意差が認められた。

POMSの混乱の結果を図 7 に示した。3 群で調査時期と群の二元配置分散分析を検討したが、群に有意差 ($p < 0.05$) が認められた。また、運動+摂取群と運動+非摂取群の間にも 6 ヶ月後に有意差 ($p < 0.05$) が認められた。研究期間中の変動を各群毎に検定したが、運動+摂取群には有意の変動はなかった。一方、運動+非摂取群では、3 ヶ月後と 6 ヶ月後の間 ($p < 0.05$) に有意差が認められ、対照+摂取群においては、摂取開始と 3 ヶ月後の間、及び摂取開始と 6 ヶ月後の間に有意差 (共に $p < 0.01$) が認められた。

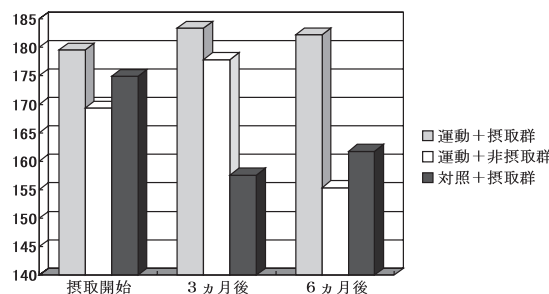


図 8. POMSのTMDの変化

全体的な心理状況の指標として、POMSの指標を合計し、唯一ポジティブな指標な指標である元気を合計値から差し引いたTotalMoodDisturbance(TMD)を求めた。TMDの結果を図 8 に示した。3 群で調査時期と群の二元配置分散分析を検討したが、有意差はなかった。また、運動+摂取群と運動+非摂取群の間に有意差はなかった。研究期間中の変動を各群毎に検定したが、運動+摂取群には有意の変動はなかった。一方、運動+非摂取群では、3 ヶ月後と 6 ヶ月後の間 ($p < 0.01$) に有意差が認められ、対照+摂取群においては、摂取開始と 3 ヶ月後の間に有意差 ($p < 0.05$) が認められた。

次に、産業衛生学会の主観的疲労度調査結果を「眠気・だるさ」、「注意集中の困難」、「身体違和感」の 3 カテゴリーに分けて検討した。図 9 に「眠気・だるさ」の結果を示したが、運動+摂取群、

運動+非摂取群、及び対照+摂取群の3群において、調査時期と群での二元配置分散分析の群に有意差 ($p<0.01$) が認められた。また、運動+摂取群と運動+非摂取群の間にも6ヶ月後に有意差 ($p<0.01$) が認められた。研究期間中の変動を各群毎に検定したが、運動+摂取群と対照+摂取群の2群では、有意の変動はなかった。一方、運動+非摂取群では、摂取開始と6ヶ月後の間 ($p<0.05$) に有意差が認められた。

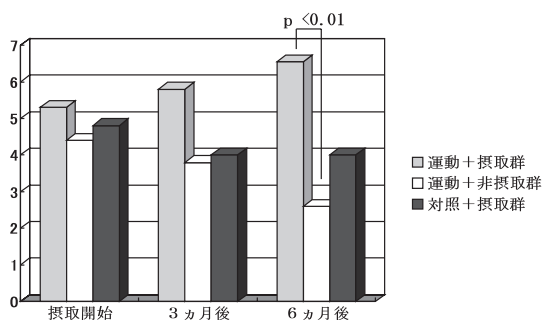


図9. 主観的疲労度の「眠気・だるさ」の変化

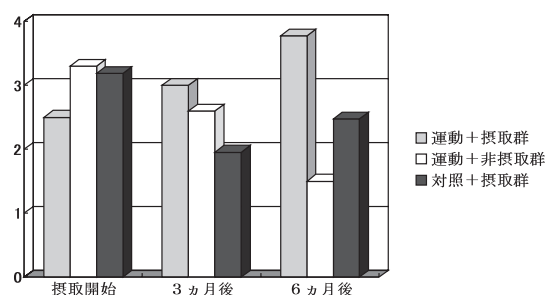


図10. 主観的疲労度の「注意集中の困難」の変化

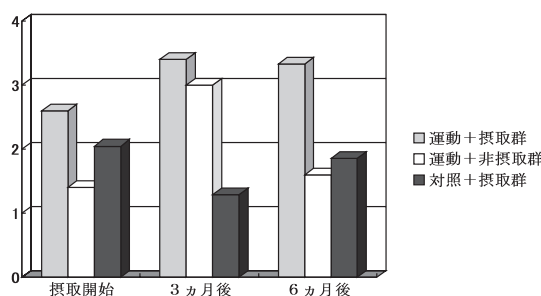


図11. 主観的疲労度の「身体違和感」の変化

「注意集中の困難」の結果を図10に示した。3群で調査時期と群の二元配置分散分析を検討したが、有意差はなかった。また、運動+摂取群と運動+非摂取群の間に有意差はなかった。研究期間中の変動を各群毎に検定したが、運動+摂取群には有意の変動はなかった。一方、運動+非摂取群では、摂取開始と6ヶ月後の間 ($p<0.05$) に有意差が認められ、対照+摂取群においては、摂取開始と3ヶ月後の間に有意差 ($p<0.05$) が認められた。図11に「身体違和感」の結果を示した。3群で調査時期と群の二元配置分散分析を検討したが、群に有意差 ($p<0.01$) が認められた。また、運動+摂取群と運動+非摂取群の間に有意差はなかった。研究期間中の変動を各群毎に検定したが、運動+摂取群と対照+摂取群の2群では、有意の変動はなかった。一方、運動+非摂取群では、摂取開始と3ヶ月後の間、及び3ヶ月後と6ヶ月後の間に有意差 (共に $p<0.001$) が認められた。

3ヶ月後は最も高強度なトレーニングが行われる夏期合宿の中間点であった。しかし、運動+摂取群にはPOMS及び主観的疲労度の全ての項目で研究期間中に有意の変動は全く認められなかった。しかし、運動+非摂取群においては、抑鬱、疲労、混乱、TMD、さらに「眠気・だるさ」、「注意集中の困難」が研究期間中に有意に変動し、6ヶ月後では疲労、混乱、「眠気・だるさ」が運動+摂取群より有意に低値であった。6ヶ月後は本格的な試合期間が終わった後であったが、一部の選手で

は試合に出るために継続的にトレーニングを行っていた。したがって、運動+非摂取群では、6ヶ月後には記録向上を目的とした高強度のトレーニングを行っていた被験者が少なかった可能性も考えられ、血清生化学検査の結果や記録等をもとにさらに詳細に各被験者のトレーニング状況を検討する必要があるとかがえられる。

対照+摂取群においては、緊張、抑鬱、怒り、混乱が介入研究期間中に減少し、元気も有意に低下したが、全体的な心理状況は改善されたと考えられる。また、「注意集中の困難」も低下した。これらは、日頃の交流が無い学生が対照+摂取群の被験者として参加した影響もあると考えられ、調査が進むと共に調査にも被験者間にも慣れが生じ、緊張感や混乱が解消されたためとも考えられる。

4. 一般血清生化学検査

6ヶ月間の介入研究において、摂取開始時、摂取3ヶ月後、及び摂取6ヶ月後の3回、採血を行った。得られた血液の一部を室温30分静置・凝固後、4℃、3000rpm、15分の遠心分離を行って血清を分離した。血糖(Glu)の測定用としてNaFを含んだ真空採血管を用いた。一般血清生化学検査は血清分離後、速やかに行った。

表3に血清中タンパク質、窒素化合物関連の測定項目の変動を示した。運動+摂取群、運動+非摂取群、及び対照+摂取群の3群において、調査時期と群での二元配置分散分析を行ったが、総タンパク質(TP)には調査時期 ($p<0.01$) に、アルブミン/グロブリン比(A/G)には調査時期 ($p<0.05$) と群 ($p<0.01$) の2項目共に、血中尿素窒素(BUN)には群 ($p<0.001$) に、総ビリルビン(TBil) には群 ($p<0.01$) に、有意差が認められた。しかし、尿酸(UA)とクレアチン(Cre)には有意差はなかった。一方、運動+摂取群と運動+非摂取群を比較すると、TPでのみ3ヶ月後に有意差 ($p<0.05$) が認められた。

次に、6ヶ月間の変動を各群毎に検定した。運動+摂取群ではTPの摂取開始と3ヶ月後の間 ($p<0.01$) に、UAの摂取開始と6ヶ月後の間 ($p<0.05$) に、TBilの摂取開始と3ヶ月後の間 ($p<0.05$) に、有意差が認められた。一方、運動+非摂取群ではA/Gの摂取開始と3ヶ月後の間 ($p<0.01$) に、BUNの摂取開始と6ヶ月後の間 ($p<0.05$) に、有意差が認められた。さらに、対照+摂取群ではA/Gの摂取開始と3ヶ月後の間 ($p<0.001$)、摂取開始と6ヶ月後の間 ($p<0.001$)、及び3ヶ月後と6ヶ月後の間 ($p<0.05$) に、BUNの摂取開始と3ヶ月後の間 ($p<0.05$) と摂取開始と6ヶ月後の間 ($p<0.01$) に、有意差が認められた。

表3. 血清中タンパク質、窒素化合物関連の測定項目の変動。

項目	運動+摂取群			運動+非摂取群			対照+摂取群		
	摂取開始	3ヶ月後	6ヶ月後	摂取開始	3ヶ月後	6ヶ月後	摂取開始	3ヶ月後	6ヶ月後
TP	7.52 (0.45)	7.07 (0.24)	7.30 (0.31)	7.62 (0.47)	7.30 (0.23)	7.39 (0.29)	7.45 (0.48)	7.31 (0.40)	7.15 (0.43)
A/G	1.86 (0.18)	1.78 (0.14)	1.84 (0.14)	1.82 (0.22)	1.67 (0.22)	1.77 (0.15)	1.81 (0.19)	1.65 (0.18)	1.61 (0.20)
BUN	19.4 (4.8)	17.0 (4.9)	17.1 (2.7)	17.8 (5.1)	16.8 (6.0)	15.7 (5.1)	14.0 (3.6)	12.4 (2.3)	12.2 (3.1)
UA	4.18 (0.55)	4.51 (0.64)	4.52 (0.45)	4.77 (0.94)	4.67 (0.78)	4.36 (0.87)	4.43 (0.82)	4.47 (0.98)	4.21 (0.88)
Cre	0.66 (0.13)	0.63 (0.12)	0.63 (0.08)	0.65 (0.10)	0.62 (0.08)	0.63 (0.07)	0.63 (0.09)	0.61 (0.10)	0.60 (0.09)
TBil	0.70 (0.23)	0.54 (0.18)	0.64 (0.15)	0.80 (0.26)	0.71 (0.28)	0.76 (0.19)	0.58 (0.22)	0.62 (0.16)	0.60 (0.28)

数値は平均値。カッコ内は標準偏差。

エネルギー・脂質代謝に関連した血清生化学検査として、総コレステロール(TChol)、中性脂肪(TriG)、及び血糖(Glu)の測定を行った。表4に血清中エネルギー・脂質代謝関連の測定項目の変動を示した。運動+摂取群、運動+非摂取群、及び対照+摂取群の3群において、調査時期と群での二元配置分散分析を行ったが、TCholには群 ($p<0.001$) に、Gluには調査時期と群の交絡因子 ($p<0.01$) に、有意差が認められた。しかし、TriGには有意差はなかった。一方、運動+摂取群と運動+非摂取群を比較すると、TChol、TriG、及びGluに有意差はなかった。

次に、6ヶ月間の変動を各群毎に検定した。運動+摂取群ではTCholの3ヶ月後と6ヶ月後の間 ($p<0.05$) に、Gluの摂取開始と3ヶ月後の間 ($p<0.001$) と摂取開始と6ヶ月後の間 ($p<0.001$) に、有意差が認められた。一方、運動+非摂取群ではTriGの摂取開始と3ヶ月後の間 ($p<0.01$) に、Gluの摂取開始と3ヶ月後の間 ($p<0.001$) と摂取開始と6ヶ月後の間 ($p<0.001$) に、有意差が認められた。さらに、対照+摂取群ではGluの摂取開始と3ヶ月後の間 ($p<0.01$) にのみ、有意差が認められた。

表4. 血清中エネルギー・脂質代謝関連の測定項目の変動。

項目	運動+摂取群			運動+非摂取群			対照+摂取群		
	摂取開始	3ヶ月後	6ヶ月後	摂取開始	3ヶ月後	6ヶ月後	摂取開始	3ヶ月後	6ヶ月後
TChol	200 (30)	192 (27)	209 (34)	188 (14)	188 (24)	187 (33)	171 (18)	178 (28)	171 (30)
TriG	52.7 (30.7)	72.7 (40.4)	63.6 (18.3)	38.4 (12.7)	67.3 (36.6)	54.2 (16.0)	70.0 (40.5)	64.4 (30.2)	72.5 (28.0)
Glu	82.5 (3.6)	88.1 (5.3)	88.5 (2.3)	79.8 (5.2)	87.5 (6.4)	90.7 (7.2)	91.1 (15.3)	83.7 (6.5)	87.3 (5.4)

数値は平均値。カッコ内は標準偏差。

表5に血清中ミネラル関連の測定項目の変動を示した。運動+摂取群、運動+非摂取群、及び対照+摂取群の3群において、調査時期と群での二元配置分散分析を行ったが、ナトリウム(Na)には調査時期 ($p<0.001$) に、塩素イオン(Cl)には調査時期 ($p<0.05$) と群 ($p<0.05$) さらに調査時期と群の交絡因子 ($p<0.05$) に、カリウム(K)には調査時期 ($p<0.001$) と群 ($p<0.001$) に、カルシウム(Ca)には調査時期 ($p<0.01$) に、鉄(Fe)には群 ($p<0.01$) に、有意差が認められた。一方、運動+摂取

群と運動+非摂取群を比較すると、Kでのみ3ヶ月後に有意差 (p<0.05) が認められた。

表5. 血清中ミネラル関連の測定項目の変動。

項目	運動+摂取群			運動+非摂取群			対照+摂取群		
	摂取開始	3ヶ月後	6ヶ月後	摂取開始	3ヶ月後	6ヶ月後	摂取開始	3ヶ月後	6ヶ月後
Na	140 (1)	140 (2)	141 (1)	140 (2)	140 (2)	141 (2)	141 (1)	140 (1)	142 (1)
Cl	101 (1)	104 (1)	101 (1)	102 (2)	103 (2)	102 (1)	103 (2)	103 (2)	104 (2)
K	4.18 (0.55)	4.51 (0.64)	4.52 (0.45)	4.77 (0.94)	4.67 (0.78)	4.36 (0.87)	4.43 (0.82)	4.47 (0.98)	4.21 (0.88)
Ca	9.48 (0.28)	9.09 (0.19)	9.25 (0.30)	9.56 (0.33)	9.29 (0.34)	9.30 (0.19)	9.41 (0.40)	9.31 (0.28)	9.23 (0.35)
Fe	98 (20)	86 (35)	111 (30)	108 (47)	104 (39)	105 (31)	71 (35)	75 (31)	88 (47)

数値は平均値。カッコ内は標準偏差。

次に、6ヶ月間の変動を各群毎に検定した。運動+摂取群ではNaの摂取開始と6ヶ月後の間 (p<0.01) に、Clの摂取開始と3ヶ月後の間 (p<0.01) と3ヶ月後と6ヶ月後の間 (p<0.01) に、Kの摂取開始と3ヶ月後の間 (p<0.001)、摂取開始と6ヶ月後の間 (p<0.05)、及び3ヶ月後と6ヶ月後の間 (p<0.05) に、Caの摂取開始と3ヶ月後の間 (p<0.01) と摂取開始と6ヶ月後の間 (p<0.05) に、Feの3ヶ月後と6ヶ月後の間 (p<0.05) に、有意差が認められた。一方、運動+非摂取群ではClの摂取開始と3ヶ月後の間 (p<0.05) に、Kの摂取開始と3ヶ月後の間 (p<0.001)、摂取開始と6ヶ月後の間 (p<0.01)、及び3ヶ月後と6ヶ月後の間 (p<0.05) に、有意差が認められた。さらに、対照+摂取群ではNaの摂取開始と3ヶ月後の間 (p<0.01) と3ヶ月後と6ヶ月後の間 (p<0.001) に、Kの摂取開始と3ヶ月後の間 (p<0.05) に、有意差が認められた。

表6に血清中逸脱酵素関連の測定項目の変動を示した。運動+摂取群、運動+非摂取群、及び対照+摂取群の3群において、調査時期と群での二元配置分散分析を行ったが、GOT(AST)には調査時期 (p<0.01) と群 (p<0.001) に、GPT(ALT)には群 (p<0.001) に、乳酸脱水素酵素(LDH)には調査時期 (p<0.001) と群 (p<0.05) に、クレアチンキナーゼ (CK) には調査時期 (p<0.01) と群 (p<0.001) さらに調査時期と群の交絡因子 (p<0.001) に、有意差が認められた。しかし、アルカリホスホターゼ (ALP)には有意差はなかった。一方、運動+摂取群と運動+非摂取群を比較すると、ASTで6ヶ月後 (p<0.05) に、ALTで6ヶ月後 (p<0.05) に、LDHで6ヶ月後 (p<0.05) に、有意差が認められた。

次に、6ヶ月間の変動を各群毎に検定した。運動+摂取群ではASTの3ヶ月後と6ヶ月後の間 (p<0.05) に、LDHの摂取開始と6ヶ月後の間 (p<0.05) に、ALPの摂取開始と3ヶ月後の間 (p<0.05) に、CKの摂取開始と3ヶ月後の間 (p<0.05) と3ヶ月後と6ヶ月後の間 (p<0.05) に、有意差が認められた。一方、運動+非摂取群ではCKの摂取開始と6ヶ月後の間 (p<0.05) にのみ、有意差が認められた。さらに、対照+摂取群ではLDHの摂取開始と3ヶ月後の間 (p<0.01) と摂取開始と6ヶ月後の間 (p<0.01) に、ALPの摂取開始と3ヶ月後の間 (p<0.01) と摂取開始と6ヶ月後の間 (p<0.001) に、有意差が認められた。

表 6. 血清中逸脱酵素関連の測定項目の変動。

項目	運動+摂取群			運動+非摂取群			対照+摂取群		
	摂取開始	3ヶ月後	6ヶ月後	摂取開始	3ヶ月後	6ヶ月後	摂取開始	3ヶ月後	6ヶ月後
AST	31.0 (6.8)	44.1 (24.1)	29.2 (4.3)	29.0 (7.1)	35.0 (22.5)	23.7 (7.0)	18.4 (4.6)	18.0 (6.7)	17.7 (6.3)
ALT	19.8 (5.7)	25.9 (10.6)	24.2 (6.7)	18.2 (5.2)	26.6 (21.7)	16.5 (5.2)	12.3 (8.1)	13.4 (9.5)	12.9 (10.9)
LDH	239 (36)	234 (50)	212 (31)	231 (48)	228 (132)	178 (38)	181 (34)	161 (21)	163 (22)
ALP	215 (48)	195 (30)	208 (49)	205 (48)	204 (51)	199 (40)	201 (52)	184 (49)	179 (56)
CK	300 (142)	689 (702)	210 (58)	267 (148)	234 (112)	166 (122)	89 (28)	82 (30)	83 (33)

数値は平均値。カッコ内は標準偏差。

運動+摂取群と運動+非摂取群の両運動群では、最も高強度なトレーニングが行われる夏期合宿の中間点である3ヶ月後に、摂取開始と比較して有意な変動が認められた検査項目が多かった。

5. 一般血液検査及び血液像

6ヶ月間の介入研究において、摂取開始時、摂取3ヶ月後、及び摂取6ヶ月後の3回、採血を行った。得られた血液の一部をEDTA-2Kで抗凝固し、一般血液検査及び血液像検査を行った。

表7に一般血液検査の測定項目の変動を示した。運動+摂取群、運動+非摂取群、及び対照+摂取群の3群において、調査時期と群での二元配置分散分析を行ったが、赤血球(RBC)には群 ($p<0.05$) に、ヘマトクリット(Ht)には調査時期 ($p<0.05$) に、平均血球容積(MCV)には群 ($p<0.001$) に、平均血球色素(MCH)には群 ($p<0.01$) に、平均血球色素濃度(MCHC)には調査時期 ($p<0.001$) と群 ($p<0.01$) さらに調査時期と群の交絡因子 ($p<0.001$) に、血小板(Plate)には群 ($p<0.001$) に、有意

表 7. 一般血液検査の測定項目の変動。

項目	運動+摂取群			運動+非摂取群			対照+摂取群		
	摂取開始	3ヶ月後	6ヶ月後	摂取開始	3ヶ月後	6ヶ月後	摂取開始	3ヶ月後	6ヶ月後
WBC	6440 (1070)	5890 (1301)	5780 (1259)	6640 (1458)	6190 (1387)	6950 (2219)	6481 (2170)	6814 (1523)	6857 (1646)
RBC	428 (25)	403 (30)	426 (26)	427 (36)	407 (24)	427 (27)	447 (44)	435 (33)	431 (42)
Hb	12.9 (0.6)	12.4 (0.8)	13.2 (0.6)	12.9 (0.8)	12.6 (0.6)	13.2 (0.8)	13.2 (1.3)	12.7 (1.1)	13.1 (1.3)
Ht	40.3 (1.9)	38.1 (2.0)	40.6 (1.8)	40.5 (2.3)	38.5 (1.6)	40.6 (2.5)	40.5 (3.7)	39.2 (2.7)	38.9 (3.4)
MCV	94.4 (2.2)	94.7 (3.2)	95.4 (2.8)	95.0 (4.2)	94.8 (4.8)	95.3 (4.1)	90.8 (4.2)	90.4 (4.3)	90.4 (4.8)
MCH	30.3 (0.8)	30.9 (0.9)	30.9 (0.9)	30.3 (1.5)	31.1 (1.2)	31.0 (1.3)	29.6 (1.8)	29.3 (2.0)	30.4 (2.3)
MCHC	32.1 (0.3)	32.6 (0.5)	32.4 (0.4)	31.8 (0.5)	32.8 (0.8)	32.6 (1.0)	32.6 (0.7)	32.3 (0.8)	33.5 (1.0)
Plate	24.1 (4.4)	23.1 (4.7)	23.2 (3.2)	29.7 (5.7)	25.4 (5.7)	29.2 (6.3)	25.7 (3.9)	25.8 (4.4)	24.5 (3.4)

数値は平均値。カッコ内は標準偏差。

差が認められた。しかし、白血球(WBC)とヘモグロビン (Hb)には有意差はなかった。一方、運動+摂取群と運動+非摂取群を比較すると、Plateでのみ摂取開始と3ヶ月後に有意差(共に $p<0.05$)が認められた。

次に、6ヶ月間の変動を各群毎に検定した。運動+摂取群ではRBCの摂取開始と3ヶ月後の間($p<0.01$)と3ヶ月後と6ヶ月後の間($p<0.01$)に、Hbの摂取開始と3ヶ月後の間($p<0.05$)と3ヶ月後と6ヶ月後の間($p<0.01$)に、Htの摂取開始と3ヶ月後の間($p<0.01$)と3ヶ月後と6ヶ月後の間($p<0.001$)に、MCVの摂取開始と6ヶ月後の間($p<0.05$)に、MCHの摂取開始と3ヶ月後の間($p<0.001$)と摂取開始と6ヶ月後の間($p<0.001$)に、MCHCの摂取開始と3ヶ月後の間($p<0.01$)と摂取開始と6ヶ月後の間($p<0.05$)に、有意差が認められた。一方、運動+非摂取群ではRBCの摂取開始と3ヶ月後の間($p<0.05$)と3ヶ月後と6ヶ月後の間($p<0.05$)に、Hbの3ヶ月後と6ヶ月後の間($p<0.05$)に、Htの摂取開始と3ヶ月後の間($p<0.05$)と3ヶ月後と6ヶ月後の間($p<0.05$)に、MCHの摂取開始と3ヶ月後の間($p<0.001$)と摂取開始と6ヶ月後の間($p<0.01$)に、MCHCの摂取開始と3ヶ月後の間($p<0.01$)と摂取開始と6ヶ月後の間($p<0.01$)に、Plateの摂取開始と3ヶ月後の間($p<0.001$)と3ヶ月後と6ヶ月後の間($p<0.01$)に、有意差が認められた。さらに、対照+摂取群ではRBCの摂取開始と6ヶ月後の間($p<0.05$)に、Hbの摂取開始と3ヶ月後の間($p<0.05$)に、Htの摂取開始と3ヶ月後の間($p<0.05$)と摂取開始と6ヶ月後の間($p<0.05$)に、MCHの摂取開始と6ヶ月後の間($p<0.001$)と3ヶ月後と6ヶ月後の間($p<0.001$)に、MCHCの摂取開始と3ヶ月後の間($p<0.05$)、摂取開始と6ヶ月後の間($p<0.001$)、及び3ヶ月後と6ヶ月後の間($p<0.001$)に、有意差が認められた。

表8に血液像の測定項目の変動を示した。運動+摂取群、運動+非摂取群、及び対照+摂取群の3群において、調査時期と群での二元配置分散分析を行ったが、好中球(Neut.)には群($p<0.001$)に、リンパ球(Lym.)には群($p<0.001$)に、単球(Mono.)には調査時期($p<0.001$)と調査時期と群の交絡因子($p<0.001$)に、好塩基球(Baso.)には群($p<0.05$)に、有意差が認められた。しかし、好酸球(Eos.)には有意差はなかった。一方、運動+摂取群と運動+非摂取群を比較すると、全ての項目で有

表8. 血液像の測定項目の変動。

項目	運動+摂取群			運動+非摂取群			対照+摂取群		
	摂取開始	3ヶ月後	6ヶ月後	摂取開始	3ヶ月後	6ヶ月後	摂取開始	3ヶ月後	6ヶ月後
WBC	6440 (1070)	5890 (1301)	5780 (1259)	6640 (1458)	6190 (1387)	6950 (2219)	6481 (2170)	6814 (1523)	6857 (1646)
Neut.	65.8 (3.1)	63.8 (5.5)	66.4 (6.3)	67.6 (3.6)	63.9 (4.9)	68.9 (6.5)	55.7 (10.2)	58.1 (9.2)	60.8 (7.4)
Lym.	25.8 (3.6)	26.4 (4.9)	25.7 (5.2)	24.0 (4.4)	26.0 (5.2)	22.3 (4.1)	35.4 (9.5)	32.6 (8.4)	30.0 (6.4)
Mono.	5.2 (1.0)	5.9 (1.6)	4.2 (1.4)	5.3 (0.8)	5.5 (1.1)	3.5 (1.2)	4.8 (0.7)	5.1 (0.9)	5.2 (1.4)
Eos.	2.1 (1.1)	3.0 (1.5)	2.7 (1.0)	2.2 (1.3)	3.7 (3.6)	4.5 (3.8)	3.3 (1.9)	3.5 (2.1)	3.4 (1.8)
Baso.	1.2 (0.4)	0.8 (0.5)	1.0 (0.7)	1.0 (0.4)	0.9 (0.4)	0.8 (0.5)	0.7 (0.5)	0.8 (0.3)	0.6 (0.4)

数値は平均値。カッコ内は標準偏差。

意差はなかった。

次に、6ヶ月間の変動を各群毎に検定した。運動+摂取群ではMono.の3ヶ月後と6ヶ月後の間 ($p<0.01$) に、Eos.の摂取開始と3ヶ月後の間 ($p<0.05$) に、有意差が認められた。一方、運動+非摂取群ではNeut.の3ヶ月後と6ヶ月後の間 ($p<0.05$) に、Lym.の3ヶ月後と6ヶ月後の間 ($p<0.05$) に、Mono.の摂取開始と6ヶ月後の間 ($p<0.001$) と3ヶ月後と6ヶ月後の間 ($p<0.001$) に、Eos.の摂取開始と6ヶ月後の間 ($p<0.05$) に、有意差が認められた。さらに、対照+摂取群ではNeut.の摂取開始と6ヶ月後の間 ($p<0.01$) に、Lym.の摂取開始と6ヶ月後の間 ($p<0.01$) に、有意差が認められた。

一般血清生化学検査と同様に、運動+摂取群と運動+非摂取群の両運動群では、最も高強度なトレーニングが行われる夏期合宿の中間点である3ヶ月後に、摂取開始と比較して有意な変動が認められた検査項目が多かった。

6. 骨密度・身体組成 (超音波、DEXA)

6ヶ月間の介入研究において、超音波法による踵骨の骨密度の測定を摂取開始時、摂取3ヶ月後、及び摂取6ヶ月後の3回行った。超音波法による踵骨の骨密度は、ALOKA社のAOS-100を使用し、音速と透過指標から計算された音響的骨評価値を指標とした。

指標とした音響的骨評価値の変動を図12に示した。運動+摂取群、運動+非摂取群、及び対照+摂取群の3群において、調査時期と群での二元配置分散分析を行ったが、音響的骨評価値には群 ($p<0.001$) に有意差が認められた。しかし、運動+摂取群と運動+非摂取群との間に有意差はなかった。次に、6ヶ月間の変動を各群毎に検定した。運動+摂取群と運動+非摂取群では研究期間中に有意の変動はなかった。一方、対照+摂取群では3ヶ月後と6ヶ月後の間 ($p<0.05$) に有意差が認められた。

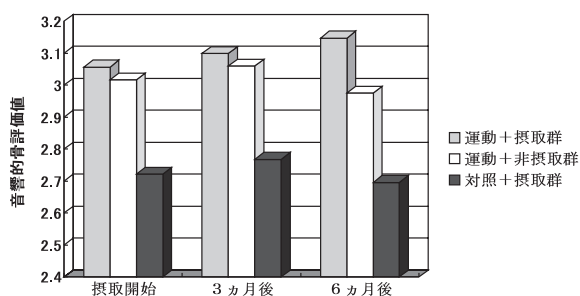


図12. 踵骨の音響的骨評価値の変化

6ヶ月間の介入研究において、二重X線吸収測定法(dual energy X-ray absorptiometry; DEXA)による骨密度と身体組成の測定を摂取開始時と摂取6ヶ月後の2回行った。DEXAによる測定は、Hologic社のQDR-4500を使用して、全身及び腰椎の骨密度の測定と全身の身体組成の測定を行った。

表9. DEXAによる骨密度の変動。

項目	運動+摂取群		運動+非摂取群		対照+摂取群	
	摂取開始	6ヶ月後	摂取開始	6ヶ月後	摂取開始	6ヶ月後
腰椎	0.976 (0.093)	1.000 (0.104)	0.927 (0.111)	0.937 (0.115)	0.921 (0.115)	0.947 (0.123)
上腕 (左)	0.720 (0.036)	0.714 (0.036)	0.683 (0.033)	0.684 (0.028)	0.674 (0.041)	0.675 (0.037)
上腕 (右)	0.746 (0.034)	0.742 (0.032)	0.712 (0.018)	0.715 (0.028)	0.697 (0.039)	0.699 (0.040)
脊椎	0.831 (0.072)	0.829 (0.053)	0.788 (0.079)	0.803 (0.083)	0.793 (0.116)	0.810 (0.113)
下肢 (左)	1.192 (0.076)	1.214 (0.083)	1.145 (0.063)	1.157 (0.066)	1.088 (0.095)	1.087 (0.094)
下肢 (右)	1.201 (0.083)	1.221 (0.094)	1.159 (0.052)	1.168 (0.073)	1.091 (0.086)	1.078 (0.087)
全身	1.128 (0.063)	1.150 (0.065)	1.114 (0.061)	1.118 (0.060)	1.072 (0.082)	1.072 (0.080)

数値は平均値。カッコ内は標準偏差。

表9に各部位の骨密度の変動を示した。運動+摂取群、運動+非摂取群、及び対照+摂取群の3群において、調査時期と群での二元配置分散分析を行ったが、上腕(左)には群(p<0.001)に、上腕(右)には群(p<0.001)に、下肢(左)には群(p<0.001)に、下肢(右)には群(p<0.01)に、全身には群(p<0.01)に、有意差が認められた。しかし、腰椎と脊椎には有意差はなかった。一方、運動+摂取群と運動+非摂取群を比較すると、上腕(左)の摂取開始と上腕(右)の摂取開始に有意差(共にp<0.05)が認められた。

次に、摂取開始と6ヵ月後の間の変動を各群毎に検定した。運動+摂取群では腰椎、下肢(左)、及び全身の骨密度が有意(それぞれp<0.05、p<0.01、及びp<0.01)に増加していた。一方、運動+非摂取群では摂取開始と6ヵ月後の間に有意の変動はなかった。さらに、対照+摂取群では腰椎と下肢(右)の骨密度の変動に有意差(それぞれp<0.001及びp<0.05)が認められた。

表10にDEXAにより評価した部位別の体脂肪率(%)の変動を示した。運動+摂取群、運動+非摂取群、及び対照+摂取群の3群において、調査時期と群での二元配置分散分析を行ったが、評価した部位別の全て(上腕(左)、上腕(右)、体幹、下肢(左)、下肢(右)、及び全身)に群(全てp<0.001)に有意差が認められた。一方、運動+摂取群と運動+非摂取群を比較すると、全ての部位で有意はなかった。摂取開始と6ヵ月後の間の変動を各群毎に検定した。しかし、運動+摂取群、運動+非摂取群、及び対照+摂取群の3群全てで、今回検討した全ての部位で体脂肪率(%)に有意の変動はなかった。

踵骨の骨密度は陸上競技等の選手では高いといわれているが、本研究でも両運動群は対照+摂取群よりも高値を示した。また、運動+摂取群は有意ではないが、研究期間中に踵骨の骨密度は増加傾向を示した。DEXAによる骨密度の測定でも両運動群は対照+摂取群よりも四肢の骨密度が高値を示した。さらに、運動+摂取群では研究期間中に腰椎、下肢(左)、及び全身の骨密度が有意に増加しており、運動+非摂取群には同様の傾向がみられないことから、牛乳摂取による影響が示唆される。しかし、対照+摂取群では腰椎の骨密度は有意に増加したが、下肢(右)の骨密度は有意に低

表10. DEXA による部位別の体脂肪率(%)の変動。

項目	運動+摂取群		運動+非摂取群		対照+摂取群	
	摂取開始	6ヶ月後	摂取開始	6ヶ月後	摂取開始	6ヶ月後
上腕	25.09	23.78	21.85	22.37	30.13	30.61
(左)	(5.34)	(6.05)	(4.74)	(6.70)	(4.27)	(4.66)
上腕	24.29	22.96	22.67	22.22	29.41	29.54
(右)	(4.78)	(4.95)	(5.18)	(6.43)	(3.89)	(4.90)
体幹	15.07	14.85	13.91	14.71	20.52	20.96
	(3.47)	(3.73)	(3.01)	(4.41)	(3.04)	(4.03)
下肢	22.88	21.80	20.26	20.84	31.30	31.81
(左)	(3.27)	(4.30)	(4.25)	(5.45)	(3.84)	(4.51)
下肢	23.55	22.72	20.85	21.41	31.96	32.34
(右)	(3.28)	(4.63)	(3.77)	(5.50)	(4.10)	(4.69)
全身	19.43	18.81	17.63	18.13	26.93	25.70
	(3.01)	(3.71)	(3.21)	(4.52)	(7.24)	(3.48)

数値は平均値。カッコ内は標準偏差。

下しており、骨密度の増加には運動による機械的刺激の必要性も考えられる。

7. 基礎代謝

6ヶ月間の介入研究において、基礎代謝の測定を摂取開始時、摂取3ヶ月後、及び摂取6ヶ月後の3回行った。基礎代謝測定の前日に被験者に留意事項として、測定時には10時間以上の空腹、8時間以上の睡眠後となるように指示した。基礎代謝測定を早朝空腹時に行うために、起床後は基本的には絶飲食とし、水とお茶の微量摂取のみは許可した。測定日は出来るだけ静かに研究所に来所してもらい、楽な服装に着替えた後に室温25℃に設定した被験者室の布団の上で仰臥安静状態をとってもらった。被験者へのマスク装着等の影響を軽減するために、熟練した女性研究者がマスクを装着し、マスクからの呼気の漏れの有無を確認した。マスク慣れの時間として10分間を設定し、マスク慣れの時間を含めて仰臥安静状態は少なくとも30分間とした。

基礎代謝の測定中は仰臥安静状態を継続させ、フクダ産業のマスクとダグラスバッグを使用し、10分間採気した。1回目の採気後にダグラスバッグを交換し、再度呼気を10分間採気した。採気した呼気量に異常があると考えられた場合には、被験者の承諾を得てから3回目の採気を行った。また、基礎代謝測定中は吸気となる室内の酸素と二酸化炭素濃度の変動を見るために、ガスサンプラーを用いて室内空気を麻醉バック（3L、アルコシステム）に採気した。呼気量は乾式ガスメーター（W-NK-5A、シナガワ）を用いて測定し、呼気中の酸素と二酸化炭素濃度は質量分析計（ARCO-1000、アルコシステム）を使用して分析した。分析値は気圧、温度、及び飽和水蒸気圧で補正し、2回の採気より得られた計算値の平均値を求め、基礎代謝量とした。

図13に1日あたりの基礎代謝量の変動を示した。運動+摂取群、運動+非摂取群、及び対照+摂取群の3群において、調査時期と群での二元配置分散分析を行ったが、群に有意差（ $p < 0.001$ ）が認められた。しかし、運動+摂取群と運動+非摂取群の間には、3回の調査全てにおいて有意差はなかった。

6ヶ月間の変動を各群毎に検定したが、運動+摂取群と運動+非摂取群には有意の変動はなかつ

た。一方、対照+摂取群では摂取開始と6ヶ月後の間及び3ヶ月後と6ヶ月後の間に有意差（共に $p<0.001$ ）が認められた。

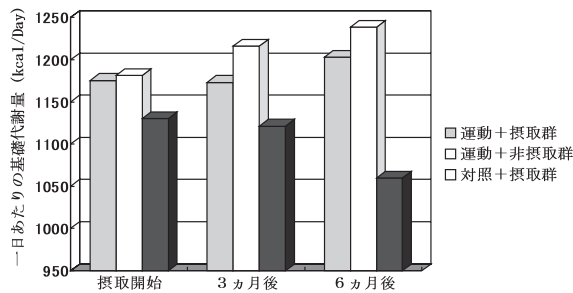


図13. 一日あたりの基礎代謝量の変化

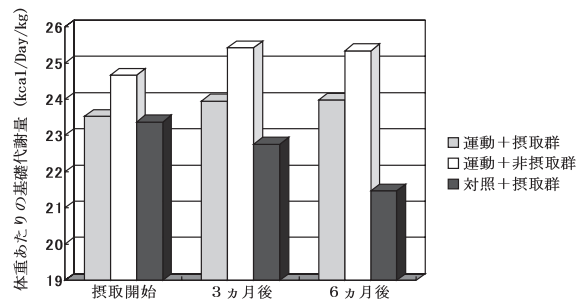


図14. 体重あたりの基礎代謝量の変化

次に、体重による基礎代謝量への影響を考慮して、1日あたりの基礎代謝量を体重で除し、体重1kgあたりとして、図14に示した。運動+摂取群、運動+非摂取群、及び対照+摂取群の3群において、調査時期と群での二元配置分散分析を行ったが、群に有意差（ $p<0.001$ ）が認められた。しかし、運動+摂取群と運動+非摂取群の間には、3回の調査全てにおいて有意差はなかった。

6ヶ月間の変動を各群毎に検定したが、運動+摂取群と運動+非摂取群には有意の変動はなかった。一方、対照+摂取群では摂取開始と6ヶ月後の間（ $p<0.001$ ）及び3ヶ月後と6ヶ月後の間（ $p<0.01$ ）に有意差が認められた。

さらに、脂肪重量を体重から差し引いた除脂肪体重（FFM）は基礎代謝量への影響が大きいことは良く知られている。そこで、被験者の身体計測としてインピーダンス法で測定した体脂肪率を基にFFMを求め、1日あたりの基礎代謝量をFFMで除し、FFM1kgあたりとして、図15に示した。運動+摂取群、運動+非摂取群、及び対照+摂取群の3群において、調査時期と群での二元配置分散分析を行ったが、3群間に有意差はなかった。また、運動+摂取群と運動+非摂取群の間には、3回の調査全てにおいて有意差はなかった。

6ヶ月間の変動を各群毎に検定したが、運動+摂取群と運動+非摂取群には有意の変動はなかった。一方、対照+摂取群では摂取開始と6ヶ月後の間及び3ヶ月後と6ヶ月後の間に有意差（共に $p<0.01$ ）が認められた。

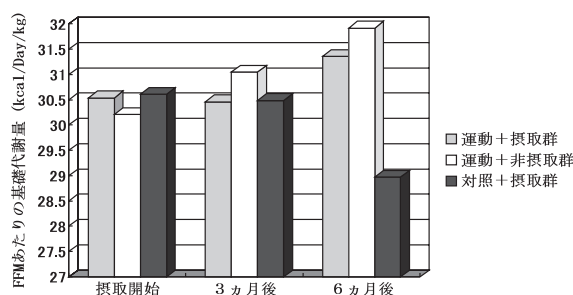


図15. FFMあたりの基礎代謝量の変化

運動+摂取群、運動+非摂取群、及び対照+摂取群の3群において、調査時期と群での二元配置分散分析を行ったが、1日あたりと体重あたりの基礎代謝量には群に有意差が認められた。しかし、FFMあたりの基礎代謝量に有意差はなく、基礎代謝量にFFMが大きく寄与していることが示された。また、運動+摂取群と運動+非摂取群の間に3回の調査全てにおいて有意差はなく、6ヶ月間でも両群に有意の変動がなかったことから、運動+摂取群では牛乳の摂取が基礎代謝に及ぼす影響はほとんど無かったと考えられる。一方、対照+摂取群では1日あたり、体重あたり、さらにFFMあたりでも基礎代謝量は6ヶ月間で有意に変動しており、牛乳の摂取が基礎代謝に影響した可能性が示唆される。しかし、本研究では対照+非摂取群を作成しておらず、牛乳摂取以外の因子が影響したことも考えられる。対照+非摂取群を作成し、さらに詳細な検討が必要と考えられる。

8. アディポサイトカイン

6ヶ月間の介入研究において、摂取開始時、摂取3ヶ月後、及び摂取6ヶ月後の3回、採血を行った。得られた血液の一部をEDTA-2Kで抗凝固後、速やかに氷冷し、4℃、3000rpm、15分の遠心分離を行って血漿を分離した。血漿はポリプロピレン製のチューブに分注後、測定までは-75℃以下にて保存した。測定は摂取6ヶ月後の採血から約1ヵ月後に行った。アディポサイトカインの測定にはELISAキットを用い、Leptin (Human Leptin, Quantikine, R&D Systems)、Adiponectin (Human Adiponectin, Quantikine, R&D Systems)、及び腫瘍壊死因子アルファ (TNF α) (Human TNF α , Immunoassay Kit, Biosource)を測定した。

図16にLeptinの結果を示した。運動+摂取群、運動+非摂取群、及び対照+摂取群の3群において、調査時期と群での二元配置分散分析を行ったが、群に有意差 ($p<0.001$) が認められた。しかし、運動+摂取群と運動+非摂取群の間には、3回の調査全てにおいて有意差はなかった。6ヶ月間の変動を各群毎に検定したが、運動+摂取群には有意の変動はなかった。一方、運動+非摂取群では摂取開始と6ヶ月後の間に有意差 ($p<0.05$) が認められ、対照+摂取群では摂取開始と3ヶ月後の間に有意差 ($p<0.05$) が認められた。

Adiponectinの結果を図17に示した。3群で調査時期と群の二元配置分散分析を検討したが、有意差はなかった。また、運動+摂取群と運動+非摂取群の間には、3回の調査全てにおいて有意差はなかった。6ヶ月間の変動を各群毎に検定したが、運動+非摂取群には有意の変動はなかった。一方、運動+摂取群では摂取開始と6ヶ月後の間に有意差 ($p<0.05$) が認められ、対照+摂取群では3ヶ月後と6ヶ月後の間に有意差 ($p<0.01$) が認められた。

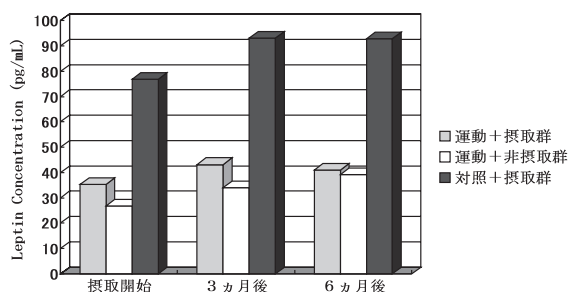


図16. Leptinの変化

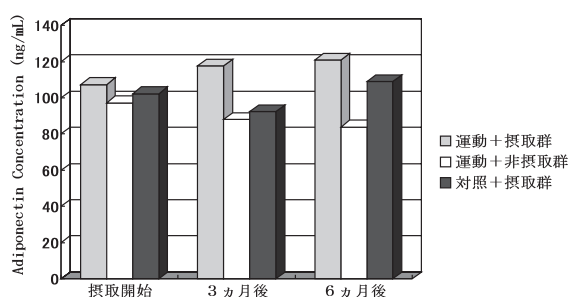


図17. Adiponectinの変化

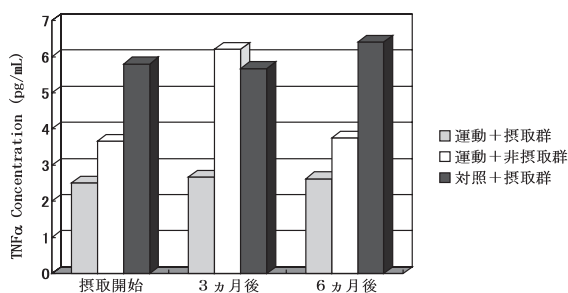


図18. TNFαの変化

TNF α の結果を図18に示した。運動+摂取群、運動+非摂取群、及び対照+摂取群の3群において、調査時期と群での二元配置分散分析を行ったが、群に有意差 ($p < 0.05$) が認められた。しかし、運動+摂取群と運動+非摂取群の間には、3回の調査全てにおいて有意差はなかった。6ヶ月間の変動を各群毎に検定したが、運動+摂取群、運動+非摂取群、及び対照+摂取群の3群全てで有意の変動はなかった。

Leptinは脂肪細胞が分泌し、視床下部弓状核に作用して摂食量と体重増加を抑制すると報告されている。さらに、生体内の脂質や糖の代謝調節におけるLeptinの重要性が報告され、インスリン抵抗性やメタボリック・シンドロームに関連して研究が行われている。図16に示したように、運動+摂取群と運動+非摂取群のLeptinはほぼ同一レベルであり、3回の調査全てにおいて有意差はなかった。しかし、運動+摂取群と運動+非摂取群の両群と対照+摂取群との間には著しい違いがみられた。肥満の高齢者を12週間運動させた研究では、Leptinは有意に低下し、AdiponectinとTNF α には変化が認められていない。したがって、両運動群と対照+摂取群との間の著しい差は日常的に行われている長距離走によるものと思われる。

図17にAdiponectinの結果を示したが、3群での調査時期と群の二元配置分散分析に有意差はなかった。しかし、有意ではないが運動+非摂取群では平均値が低下しているのに対して、運動+摂取群はしだいに増加し、6ヶ月後には有意差 ($p < 0.05$) が認められている。対照+摂取群では3ヶ月後に低下したが、6ヶ月後には摂取開始より平均値は上昇している。これら、特に運動+摂取群にみられた変動は牛乳の摂取によると考えられ、インスリン抵抗性を改善するとされるAdiponectinに変化がみられた意義は大きいと思われる。

また、正常なラットにLeptinを投与するとLPSで誘導されるTNF α の産生が増加するとの報告がある。運動+摂取群においてはTNF α が低値（図18）であったこと、さらにLeptinが高値であった対照+摂取群ではTNF α も高値であったことは、この研究と一致すると考えられる。一方、脂肪細胞と前脂肪細胞にサイトカインを作用させた研究では、TNF α を含む炎症性サイトカインによって、前脂肪細胞からのLeptinの分泌量の増加が報告されている。運動+非摂取群では、最も高強度なトレーニングが行われる夏期合宿の中間点である3ヶ月後に有意ではないが平均値が上昇しており、高強度トレーニングにより炎症性の変化が生じた可能性が疑われる。しかし、Leptinは増加しておらず、運動+非摂取群ではトレーニングにより脂肪細胞のみでなく、前脂肪細胞も減少している可能性が考えられる。

これらのアディポサイトカインの変動は互いに関連しており、他の血液成分の変動とも合わせて、さらに慎重に検討する必要があると思われる。

9. 血清の抗酸化バランス（血清総抗酸化能）

6ヶ月間の介入研究において、摂取開始時、摂取3ヶ月後、及び摂取6ヶ月後の3回、採血を行った。得られた血液の一部を室温30分静置・凝固後、4℃、3000rpm、15分の遠心分離を行って血清を分離した。血清はポリプロピレン製のチューブに分注後、測定までは-75℃以下にて保存した。測定は摂取6ヶ月後の採血から約1ヵ月後に行った。血清の抗酸化バランスの指標として、ビタミンC濃度(VC)、グルタチオン還元酵素活性(GRed)、グルタチオン過酸化酵素活性(GPerOx)、全グルタチオン（非タンパク性スルホヒドリル基）濃度(NPSH)、亜硝酸イオン濃度(NO⁻)、チオバルビツール酸反応物(TBAR)、及び血清の総抗酸化能（Total Antioxidative Activity; TAA）を、既報に従って測定した。

血清の総抗酸化能(TAA)は、ルミノメータを検出器とするELISA測定用基質として開発されたSuper Signal ELISA Pico（Pierce）と基質に対する酵素としてHorseradish peroxidase（HRP）（和光）を用い、超高感度化学発光解析装置（ α -Basic47）により、バッファーのみを添加したBlankとControlとして濃度を3段階に変化させたVCを含む、96検体を同時に測定した。TAAは、血清等の検体の添加によりほぼ完全に阻害された発光がバッファーのみを添加したBlankの50%の発光量に回復するまでに要する時間を指標として評価し、基準としたVCの濃度相当量（VC Eq.）で表示した。

図19に血清中VCの結果を示した。運動+摂取群、運動+非摂取群、及び対照+摂取群の3群において、調査時期と群での二元配置分散分析を行ったが、調査時期と群に有意差（それぞれ $p<0.01$ と $p<0.001$ ）が認められた。しかし、運動+摂取群と運動+非摂取群の間には、3回の調査全てにおいて有意差はなかった。6ヶ月間の変動を各群毎に検定したが、3群全てで有意の変動が認められ、運動+摂取群では摂取開始と3ヶ月後の間及び摂取開始と6ヶ月後の間に有意差（共に $p<0.001$ ）が認められた。運動+非摂取群でも同様に摂取開始と3ヶ月後の間及び摂取開始と6ヶ月後の間に有

意差（共に $p < 0.01$ ）が認められた。また、対照+摂取群では摂取開始と3ヶ月後の間（ $p < 0.001$ ）及び3ヶ月後と6ヶ月後の間（ $p < 0.05$ ）に有意差が認められた。

GRedの結果を図20に示した。3群で調査時期と群の二元配置分散分析を検討したが、群に有意差（ $p < 0.001$ ）が認められた。また、摂取開始の時点で、運動+摂取群と運動+非摂取群の間に有意差（ $p < 0.05$ ）が認められた。研究期間中の変動を各群毎に検定したが、3群全てに有意の変動はなかった。

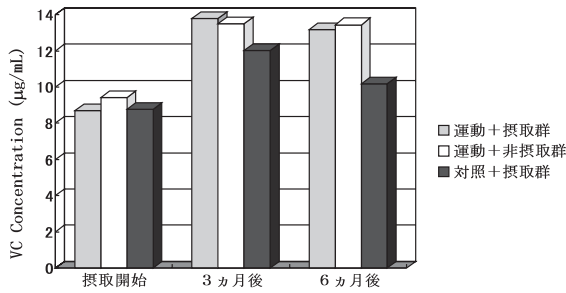


図19. 血清中VCの変化

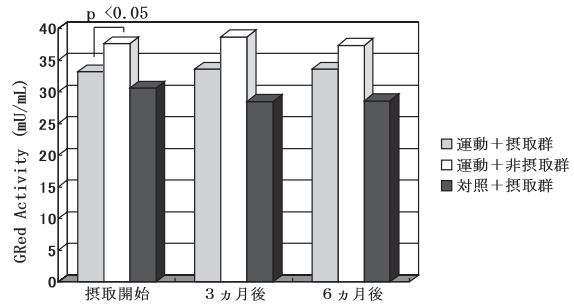


図20. 血清中GRedの変化

図21にGPerOxの結果を示した。3群で調査時期と群の二元配置分散分析を検討したが、有意差はなかった。また、運動+摂取群と運動+非摂取群の間には、3回の調査全てにおいて有意差はなかった。研究期間中の変動を各群毎に検定したが、運動+摂取群には有意の変動はなかった。一方、運動+非摂取群では3ヶ月後と6ヶ月後の間（ $p < 0.05$ ）に有意差が認められ、対照+摂取群では摂取開始と3ヶ月後の間（ $p < 0.05$ ）及び摂取開始と6ヶ月後の間（ $p < 0.01$ ）に有意差が認められた。

NPSHの結果を図22に示した。3群で調査時期と群の二元配置分散分析を検討したが、調査時期に有意差（ $p < 0.001$ ）が認められた。また、運動+摂取群と運動+非摂取群の間には、3回の調査全てにおいて有意差はなかった。6ヶ月間の変動を各群毎に検定したが、3群全てで有意の変動が認められ、運動+摂取群では摂取開始と3ヶ月後の間（ $p < 0.001$ ）及び摂取開始と6ヶ月後の間（ $p < 0.05$ ）に有意差が認められた。運動+非摂取群では摂取開始と3ヶ月後の間（ $p < 0.001$ ）に有意差が認められた。また、対照+摂取群では摂取開始と3ヶ月後の間（ $p < 0.001$ ）及び3ヶ月後と6ヶ月後の間（ $p < 0.001$ ）に有意差が認められた。

図23にNO⁻の結果を示した。3群で調査時期と群の二元配置分散分析を検討したが、有意差はな

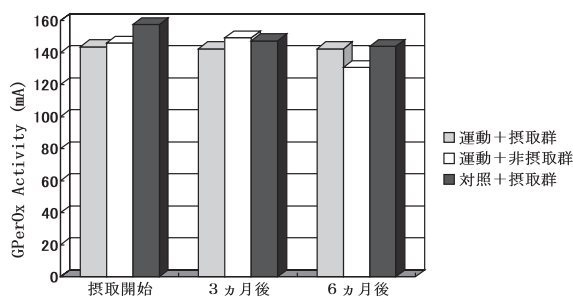


図21. 血清中GPerOxの変化

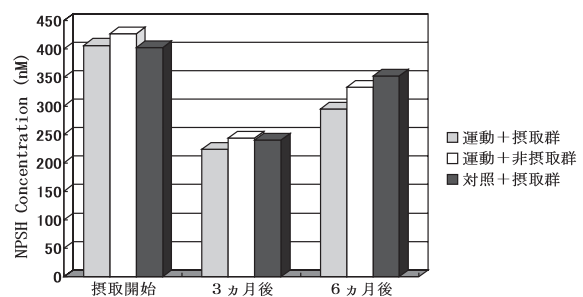


図22. 血清中NPSHの変化

かった。また、運動+摂取群と運動+非摂取群の間には、3回の調査全てにおいて有意差はなかった。研究期間中の変動を各群毎に検定したが、3群全てに有意の変動はなかった。

TBARの結果を図24に示した。3群で調査時期と群の二元配置分散分析を検討したが、群に有意差 ($p < 0.001$) が認められた。また、3ヶ月後の時点で、運動+摂取群と運動+非摂取群の間に有意差 ($p < 0.05$) が認められた。6ヶ月間の変動を各群毎に検定したが、運動+摂取群には有意の変動はなかった。一方、運動+非摂取群では摂取開始と6ヶ月後の間 ($p < 0.05$) に有意差が認められ、対照+摂取群では摂取開始と3ヶ月後の間 ($p < 0.05$) 及び摂取開始と6ヶ月後の間 ($p < 0.01$) に有意差が認められた。

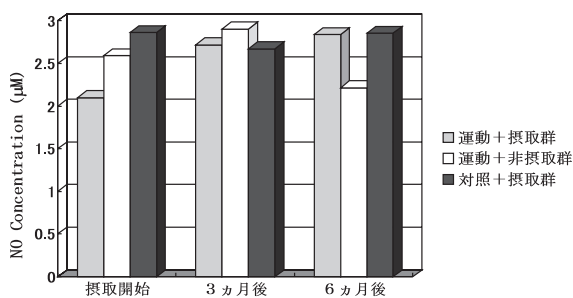


図23. 血清中NOの変化

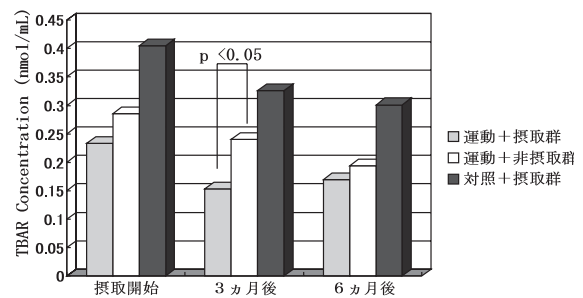


図24. 血清中TBARの変化

図25にTAAの結果を示した。3群で調査時期と群の二元配置分散分析を検討したが、群に有意差 ($p < 0.001$) が認められた。また、摂取開始の時点で、運動+摂取群と運動+非摂取群の間に有意差 ($p < 0.05$) が認められた。研究期間中の変動を各群毎に検定したが、運動+非摂取群には有意の変動はなかった。一方、運動+摂取群では摂取開始と6ヶ月後の間 ($p < 0.05$) に有意差が認められ、対照+摂取群では摂取開始と3ヶ月後の間 ($p < 0.05$) 及び3ヶ月後と6ヶ月後の間 ($p < 0.05$) に有意差が認められた。

VCは生体内における重要な抗酸化物質である。本研究においては、研究期間中に3群全てでVCの有意の上昇が認められた (図19)。血清中VC濃度は持久的運動をしている成人においても7日間のサプリメント投与 (VC 900 mg/日) で有意の増加がみられ、200 ~ 400mg/日の摂取で飽和し、半減期は10時間と報告されている。したがって、少なくとも調査数日前までのサプリメント摂取を含む食事調査が必要と考えられる。また、血清中VC濃度は運動後に一過性に上昇し、その後数日間には運動前値以下になると報告されており、両運動群では調査数日前までのトレーニング状況等も考

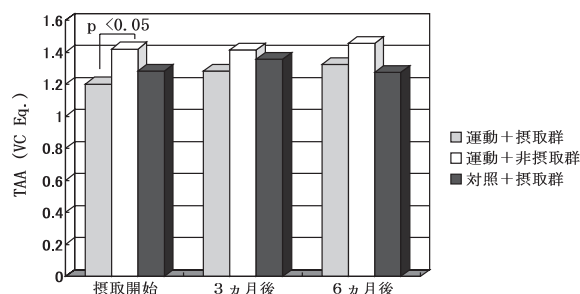


図25. 血清TAAの変化

慮する必要があると考えられる。したがって、本研究で認められたVCの上昇に関して牛乳摂取による影響を検討するには、運動+摂取群と運動+非摂取群の両運動群間でのVC摂取量の差やトレーニング状況等も考慮する必要があると考えられる。

グルタチオンは肝臓を再循環障害から防御する内因性の抗酸化物質として良く知られている。過酸化物質をグルタチオンで還元することで生体の酸化に寄与する酵素がGPerOxであり、酸化されたグルタチオンを還元して回復させる酵素がGRedである。本研究では、摂取開始の時点でGRedが運動+摂取群より運動+非摂取群で有意に高値であり、研究期間中に3群全てに有意の変動はなく、運動+非摂取群が高値を示す傾向が継続した(図20)。また、GPerOxでも運動+摂取群に有意の変動はみられなかった。一方、対照+摂取群では摂取開始より低下し、3ヶ月後との間及び6ヶ月後との間に有意差が認められた(図21)。したがって、牛乳摂取によるGRed及びGPerOxへの影響はほとんど無いと考えられる。

本研究では血清中全グルタチオンとして非タンパク性スルフヒドリル(-SH)濃度(NPSH)を測定した。研究期間中に3群全てで3ヶ月後に有意に低下し、6ヶ月後に回復傾向を示したが、運動+摂取群では6ヶ月後にも有意差が認められた(図22)。牛乳摂取によるNPSHへの影響はほとんど無いと考えられるが、3ヶ月後の低下の原因は不明であり、季節的な変動を含めてさらに詳細な検討が必要と思われる。また、喫煙者の方が血漿中全グルタチオンや非グルタチオン性スルフヒドリル(-SH)濃度が低く、喫煙の指標と血漿中全グルタチオン濃度が負に相関したと報告されている。したがって、何らかの生活状況の変化による可能性も考えられ、アンケートを基に生活状況の変化を考慮する必要があると思われる。一方、再循環後にグルタチオンを静注した動物実験の結果では、血漿中グルタチオン濃度が10~40倍に増加した場合に生存率の向上等がみられており、グルタチオンに関連している血清中NPSH濃度、血清中GRed活性及び血清中GPerOx活性は酸化能への寄与が小さい可能性も考えられる。また、Fenton反応によりラジカルを発生させ、血清等からのTBARの産生抑制を指標とした場合ではグルタチオンの酸化性はアルブミンの10分の1であったと報告されている。

生体内での活性酸素種の主要な発生源のひとつとして好中球が考えられる。好中球は肝細胞の500倍もNO⁻を産生しており、血清中NO⁻を生体内での好中球活性の指標とした。また、NO⁻は細胞内あるいは細胞間の情報伝達物質として重要であるが、同時に組織傷害を引き起こすラジカルにもなることが知られている。しかし、本研究においては、3群全てに有意の変動はみられなかった(図23)。肝硬変の患者の血清中NO₂⁻濃度は健康な対照群よりも有意に高値を示したとの報告があり、好中球が活性化される炎症反応のみでなく、肝機能異常も考慮する必要があると考えられる。しかしながら、牛乳摂取によるNO⁻への影響はほとんど無いと考えられる。

本研究では、血清中の酸化・抗酸化バランスをみる目的でTBARを測定した。喫煙者と非喫煙者を比較した研究では、喫煙者の尿中TBAR濃度は高いと報告されている。また、急性膵炎においては臨床的な重篤度に応じて血清中TBAR濃度が増加したと報告されている。運動+摂取群と運動+

非摂取群を比較すると、運動+摂取群が低値を示す傾向が継続し、3ヶ月後の時点で有意差 ($p<0.05$) が認められた (図24)。研究期間中に運動+摂取群には有意の変動はなかったが、運動+非摂取群と対照+摂取群では摂取開始から低下し、6ヶ月後には2群共に有意差が認められた (図6)。運動+摂取群と運動+非摂取群の結果だけを比較すると、最も高強度なトレーニングが行われる夏期合宿の中間点である3ヶ月後に運動+摂取群が有意に低値を示した事は、牛乳摂取による影響とも考えられる。しかし、運動+非摂取群においても研究期間中にTBARが低下しており、さらに詳細な検討が必要と思われる。

本研究を行うに当たっての仮説として、牛乳中の不飽和脂肪酸によってトリプトファン・ナイアシン代謝の鍵酵素 α -amino- β -carboxymuconate- ϵ -semialdehyde decarboxylase (ACMSD) の活性が抑制され、牛乳中に多く含まれるアミノ酸であるトリプトファンからナイアシンへの転換率が上昇し、ACMSD活性抑制に伴って抗酸化作用の強いナイアシンが効率的に産生される事で生体内の抗酸化能が改善する可能性を考えた。本研究で測定したTAAは、生体内の抗酸化能の重要な指標と考えられている。運動+摂取群と運動+非摂取群を比較すると、摂取開始の時点で有意差 ($p<0.05$) が認められた (図25)。しかし、研究期間中に運動+非摂取群には有意の変動はなかったが、運動+摂取群では上昇傾向が継続し、摂取開始と6ヶ月後の間 ($p < 0.05$) に有意差が認められた。したがって、運動+摂取群と運動+非摂取群の結果だけを比較すると、運動+摂取群における継続したTAAの上昇傾向は、牛乳摂取による影響とも考えられる。対照+摂取群では3ヶ月後だけが有意に高くなっており、運動+摂取群とは異なっていた。しかしながら、競技選手では増大した酸素摂取による活性酸素種の産生増加が危惧されており、牛乳摂取によって生体内の抗酸化能が改善した可能性が示されたことは重要と考えられる。

10. 栄養素摂取調査

6ヶ月間の介入研究において、摂取開始時、摂取3ヶ月後、及び摂取6ヶ月後の3回、栄養素摂取調査を行った。栄養素摂取調査の調査期間は、運動+摂取群と運動+非摂取群では3回共に連続する平日の3日間とした。また、対照+摂取群では平日2日と日曜または祭日のどちらか1日が含まれる連続した3日間とした。なお、1回目の栄養素摂取調査は摂取開始直前に行った。

被験者に対して事前に面談して栄養素摂取調査方法を説明し、各自に調査方法のマニュアルを渡し、十分な理解が得られたことを確認してから調査を行った。栄養素摂取調査方法としては、被験者に自記式で食事記録を取らせ、写真を食事の前後で撮影させた。食事を撮影する際には、あらかじめ配布した20cmの定規を食事前と食後に食器の側に置かせ、定規と一緒に記録させることで食事の大きさを判定した。また、写真撮影には被験者個人が所有している携帯電話のカメラ・メール機能を使用し、内容のメモも添付させて指定したメールアドレスへ随時送信するように指示した。さらに、調査後に記録内容の不明点を被験者に面談して確認し、その内容を自記式の食事記録に併

せて記録とした。

栄養素摂取量の計算には五訂増補食品成分表を用い、管理栄養士と栄養士が栄養素摂取量の計算ソフト（建帛社、エクセル栄養君v.4.0（五訂増補食品成分表対応））を使用して、エネルギー及び各栄養素の摂取量を計算した。五訂増補食品成分表に掲載されていない市販食品に関しては、メーカーで表示している栄養素に基づき五訂増補食品成分表に掲載されている食品に置き換えて計算した。また、サプリメント類に関しては、メーカーで表示している栄養素を使用し、栄養素摂取量に追加した。本研究では3回の栄養素摂取調査において、食事記録、写真、及び内容の確認メモからの食材料の種類と重量の推定は、同一の管理栄養士と栄養士が行った。また、摂取3ヶ月後と摂取6ヶ月後の栄養素摂取量の計算には、牛乳摂取による食事への影響を明確にする目的で、研究目的で摂取させている牛乳分は除いて計算した。

本研究では、運動+摂取群と対照+摂取群には毎日500mL（250mLブリックパック2個）の牛乳を摂取させた。運動+摂取群と対照+摂取群の被験者には毎日の牛乳摂取状況を指定した記録用紙に記録するように指示した。記録用紙は2週間記録できるように作成し、1ヶ月に1回以上回収して摂取状況を把握した。

表11. 牛乳摂取状況の変動。

群名	1ヶ月目	2ヶ月目	3ヶ月目	4ヶ月目	5ヶ月目	6ヶ月目	全期間
運動+摂取群	89.5	82.7	89.1	87.3	90.7	89.3	88.1
(%)	(17.4)	(22.1)	(9.6)	(13.1)	(11.9)	(10.2)	(14.0)
対照+摂取群	89.2	85.7	76.3	83.7	79.6	84.7	83.2
(%)	(10.3)	(17.0)	(26.5)	(16.0)	(19.4)	(18.0)	(17.8)

数値は平均値。カッコ内は標準偏差。

表11に6ヶ月間の介入研究期間中の牛乳摂取状況の変動を示した。牛乳の摂取状況は、1日分2個を飲んだ場合に100%とし、全く飲まなかった場合を0%として各被験者別に摂取率を求め、群別に1ヶ月毎に平均値と標準偏差を求めた。また、運動+摂取群には1ヶ月分の摂取記録を完全に提出しない被験者が毎月2～3名存在した。そこで、これらの未提出者は摂取率の計算から除外した。未提出者が全く摂取していないと仮定して計算しても摂取率は70%以上であったが、少なくとも記録を提出していた選手は全研究期間の平均で摂取率は88.1%であった。運動+摂取群では3ヶ月目は夏期休暇の期間中で陸上競技部の夏期合宿が行われ、走り込みが行われている時期であった。しかし、牛乳摂取状況をみると、平均が89.1%と高く、標準偏差は9.6%と最小となり、夏期休暇中は全体的に摂取状況が良かったと思われる。一方、対照+摂取群の牛乳摂取量も全研究期間の平均で83.2%と運動+摂取群と同程度であった。しかし、対照+摂取群では夏期休暇中にあたる3ヶ月目は平均が76.3%と低く、標準偏差も26.5%と最大となった。夏期休暇中は被験者の滞在先へ牛乳を郵送し、定期的に摂取状況の確認をした。しかし、夏期休暇中は長期にわたる外泊や体調不良等の訴えも多く、牛乳の摂取状況に個人差が大きくなったと考えられる。

食事摂取に影響を及ぼすと考えられる生活形態を見ると、運動+摂取群と運動+非摂取群はそれぞれ合宿所に居る者が8名と6名、自宅で1人暮らしをしている者が2名と4名であった。合宿所

の食事は、夕食は食堂で提供されるが、朝食はご飯と味噌汁を選手が当番で調理していた。

合宿所で生活した被験者が合宿所で食事を摂る分布の変化を見ると、摂取開始時、摂取3ヶ月後、摂取6ヶ月後で有意 ($p<0.001$) に変動していた。一方、自宅暮らしの選手は、6ヶ月間を通して食事の摂り方に大きな変化は見られなかった。したがって、合宿所で食事を摂る分布の変化は、3ヶ月目が夏期合宿を繰り返し行っていた時期であり、ほとんどの選手が自由な時間を求めて外食したためと考えられる。

対照+摂取群の生活形態を見ると、毎日寮で朝食と夕食が提供されていた。寮で食事を摂る分布の変化を見ると、摂取開始時、摂取3ヶ月後、摂取6ヶ月後で有意差はないが、摂取6ヶ月後では寮の食事を摂る学生が少なくなる傾向がみられた。寮の食事を取らない場合は、安価で手軽に食べられるインスタント食品や菓子パンなどを購入する機会が多く、1回の食事が飲み物と菓子パン1個といったパターンや食事の代わりに菓子類で済ませている学生もいた。

表12. 3大栄養素及び食物繊維総量の摂取量の変動。

項目	運動+摂取群			運動+非摂取群			対照+摂取群		
	摂取開始	3ヶ月後	6ヶ月後	摂取開始	3ヶ月後	6ヶ月後	摂取開始	3ヶ月後	6ヶ月後
エネルギー (kcal)	1946 (420)	1630 (646)	2289 (227)	1682 (395)	1756 (685)	1959 (375)	1846 (307)	1766 (499)	1579 (415)
たんぱく質 (g)	83.1 (20.9)	61.2 (35.5)	85.8 (19.9)	64.1 (19.3)	56.5 (24.6)	75.6 (13.0)	62.0 (14.2)	56.2 (14.7)	57.0 (16.3)
脂質 (g)	66.2 (19.9)	49.6 (19.4)	86.2 (12.4)	54.1 (18.4)	65.4 (38.9)	76.4 (10.8)	61.7 (14.4)	55.3 (21.6)	55.7 (17.4)
炭水化物 (g)	249.5 (61.3)	227.7 (84.7)	283.5 (28.1)	232.6 (60.5)	230.8 (65.0)	232.8 (58.4)	252.8 (41.1)	250.8 (69.7)	204.0 (61.1)
食物繊維総量 (g)	12.9 (3.9)	10.8 (5.4)	13.8 (4.5)	13.8 (3.8)	11.3 (4.7)	12.4 (2.2)	12.8 (3.7)	12.3 (4.1)	10.1 (4.0)

数値は平均値。カッコ内は標準偏差。

摂取開始前、摂取3ヶ月後、摂取6ヶ月後の3大栄養素及び食物繊維総量の摂取量の変動を表12に、ミネラル摂取量の変動を表13に、ビタミン摂取量の変動を表14に、運動+摂取群、運動+非摂取群、及び対照+摂取群の3群に分けて示した。

運動+摂取群、運動+非摂取群、及び対照+摂取群の3群において、調査時期と群での二元配置分散分析を行ったところ、たんぱく質 ($p<0.001$)、リン ($p<0.01$)、鉄 ($p<0.05$)、トコフェロール当量 ($p<0.05$) で群に有意差が認められた。また、たんぱく質 ($p<0.01$)、脂質 ($p<0.01$)、リン ($p<0.01$)、レチノール当量 ($p<0.05$) には摂取時期に有意差が認められた。

表13. ミネラル摂取量の変動。

項目	運動+摂取群			運動+非摂取群			対照+摂取群		
	摂取開始	3ヶ月後	6ヶ月後	摂取開始	3ヶ月後	6ヶ月後	摂取開始	3ヶ月後	6ヶ月後
カルシウム (mg)	718 (343)	505 (323)	543 (217)	524 (222)	515 (270)	537 (257)	579 (194)	529 (170)	411 (196)
マグネシウム (mg)	276 (109)	215 (153)	250 (92)	251 (104)	210 (125)	212 (41)	225 (78)	232 (73)	183 (60)
リン (mg)	1267 (411)	836 (504)	1159 (278)	958 (265)	849 (366)	992 (159)	882 (237)	796 (217)	817 (252)
鉄 (mg)	14.9 (15.5)	22.6 (26.5)	45.8 (95.0)	19.9 (20.5)	13.1 (16.8)	26.2 (33.2)	7.4 (2.4)	10.7 (3.0)	6.5 (2.5)

数値は平均値。カッコ内は標準偏差。

表14. ビタミン摂取量の変動。

項目	運動+摂取群			運動+非摂取群			対照+摂取群		
	摂取開始	3ヶ月後	6ヶ月後	摂取開始	3ヶ月後	6ヶ月後	摂取開始	3ヶ月後	6ヶ月後
レチノール 当量 (μ g)	460 (129)	733 (1260)	579 (217)	543 (266)	1017 (1109)	518 (111)	435 (260)	551 (255)	406 (138)
ビタミンD (μ g)	5.0 (2.7)	3.1 (2.7)	6.1 (3.0)	4.0 (2.9)	3.4 (2.6)	5.0 (3.0)	7.3 (9.7)	7.1 (7.4)	4.7 (3.8)
トコフェロール 当量 (mg)	9 (3)	9 (8)	11 (2)	10 (5)	8 (6)	11 (3)	8 (2)	9 (3)	7 (3)
ビタミンK (μ g)	279 (167)	195 (171)	342 (233)	256 (153)	205 (188)	321 (128)	156 (107)	273 (121)	181 (138)
ビタミンB1 (mg)	1.34 (0.65)	1.45 (1.26)	1.39 (0.22)	1.14 (0.64)	1.06 (0.84)	1.37 (0.31)	2.89 (5.15)	3.13 (6.25)	1.62 (3.62)
ビタミンB2 (mg)	1.66 (0.61)	1.82 (1.61)	1.47 (0.45)	1.34 (0.76)	1.35 (0.82)	2.90 (3.80)	4.10 (8.98)	4.23 (9.34)	2.58 (7.05)
ビタミンC (mg)	124 (64)	92 (58)	129 (44)	157 (113)	133 (147)	410 (693)	225 (409)	231 (404)	86 (99)

数値は平均値。カッコ内は標準偏差。

6ヶ月間の変動を各群毎に検定すると、運動+摂取群は、摂取開始と3ヵ月後では、たんぱく質 ($p<0.05$)、カルシウム ($p<0.05$)、リン ($p<0.01$) に有意な低下が、摂取開始と6ヵ月後では、脂質 ($p<0.05$) の有意な増加が認められた。一方、運動+非摂取群では、全ての栄養素において有意な変動は認められなかった。対照+摂取群は、摂取開始と3ヵ月後では、鉄 ($p<0.001$) とビタミンK ($p<0.01$) に有意な増加が、摂取開始と6ヵ月後では、炭水化物 ($p<0.01$)、カルシウム ($p<0.01$)、エネルギー ($p<0.05$)、マグネシウム ($p<0.05$)、及び食物繊維総量 ($p<0.05$) に有意な低下が認められた。

牛乳摂取による食事への影響を明確にする目的で、表12から表14に示した摂取3ヶ月後と摂取6ヵ月後の栄養素摂取量の計算結果には、研究目的で摂取させている牛乳分を除いていた。したがって、研究期間中に運動+摂取群と対照+摂取群に認められた摂取栄養素量の有意な低下は、摂取している牛乳によって補われていた可能性も考えられる。そこで、本研究で摂取させた1日500mLの牛乳の栄養素を五訂増補食品成分表の普通牛乳を使用して、表12から表14に示した摂取3ヶ月後と摂取6ヵ月後の栄養素摂取量の計算結果に加算した。

表15に運動+摂取群と対照+摂取群の摂取3ヵ月後と摂取6ヵ月後の栄養素摂取量に、1日当たり摂取させた牛乳500mL分の栄養素を付加した結果を示した。

表15. 牛乳 500mL 分を付加した栄養素摂取量の変動。

項 目	運動+摂取群			対照+摂取群		
	摂取開始	3ヶ月後	6ヶ月後	摂取開始	3ヶ月後	6ヶ月後
エネルギー (kcal)	1946	1965	2624	1846	2101	1914
たんぱく質 (g)	83.1	77.7	102.3	62.0	72.7	73.5
脂 質 (g)	66.2	68.6	105.2	61.7	74.3	74.7
炭水化物 (g)	249.5	251.7	307.5	252.8	274.8	228.0
食物繊維総量 (g)	12.9	10.8	13.8	12.8	12.3	10.1
カルシウム (mg)	718	1055	1093	579	1079	961
ビタミンD (μ g)	5.0	4.6	7.6	7.3	8.6	6.2

数値は平均値。

表15においては、運動+摂取群の摂取開始前と摂取3ヶ月後の栄養素摂取量は大きく変化していなかった。摂取3ヶ月後では、食事からの栄養素摂取量が減少していたが、牛乳の栄養素を加えることで摂取開始時とほぼ同程度の栄養素摂取量となった。また、摂取開始前と摂取3ヶ月後と比較すると摂取6ヶ月後の栄養素摂取量は増加傾向を示した。摂取6ヶ月後は、食事からの栄養素摂取量が摂取開始よりも多くなっていた。この摂取量の増加の原因の一つとして、摂取6ヶ月後は陸上競技大会の直後にあたり、運動群の体重やコンディションのコントロールがやや緩やかになっていたことが影響していた可能性が考えられる。

一方、対照+摂取群は、摂取開始に比べ、摂取3ヶ月後と摂取6ヶ月後は食事からの栄養素摂取量は減少していた。しかし、牛乳の栄養素を加えた表5の結果をみると、特に、たんぱく質、脂質、及びカルシウムの摂取量は逆に増加傾向であった可能性が示唆される。

Ⅲ. 総括

本研究では、長距離走の大学競技選手及び一般女子大学生を被験者として、牛乳の摂取による体構成成分の改善あるいは高強度トレーニング期間における除脂肪体重の保持、さらに骨リモデリングへの影響を検討するため、6ヶ月間の介入研究を行った。摂取開始時、摂取3ヶ月後、及び摂取6ヶ月後の3回、骨密度の測定を含む体格・体構成成分の測定を行い、同時に採血を行って一般血生化学検査に加えて血漿中アディポサイトカイン濃度と血清総抗酸化能を測定した。さらに、生活・身体状況及び心理状況・疲労に関するアンケートを行った。主な結果は以下のとおりである。

超音波法による踵骨の骨密度は陸上競技等の選手では高いといわれているが、本研究でも両運動群は対照+摂取群よりも高値を示した。また、運動+摂取群は有意ではないが、研究期間中に踵骨の骨密度は増加傾向を示した。二重エネルギーX線吸収法 (DEXA) による骨密度の測定は、摂取開始時と摂取6ヶ月後の2回行ったが、両運動群は対照+摂取群よりも四肢の骨密度が高値を示し

た。さらに、運動+摂取群では腰椎、下肢（左）、及び全身の骨密度が有意に増加しており、運動+非摂取群には同様の傾向がみられないことから、牛乳摂取による影響が示唆された。しかし、対照+摂取群では腰椎の骨密度は有意に増加したが、下肢（右）の骨密度は有意に低下しており、骨密度の増加には運動による機械的刺激が必要であると考えられる。

対照+摂取群は両運動群と体格が近くなるようにBMIを考慮して調整した。しかし、運動+摂取群、運動+非摂取群、及び対照+摂取群の3群において調査時期と群での二元配置分散分析を行ったところ、インピーダンス法で測定した体脂肪率には群に有意差がみられ、DEXAによる部位別の体脂肪率(%)には全ての部位（上腕（左）、上腕（右）、体幹、下肢（左）、下肢（右）、及び全身）で群に有意差が認められた。一方、運動+摂取群と運動+非摂取群の間には有意差が認められなかった。摂取開始と6ヵ月後の変化についても、3群とも全ての部位で体脂肪率(%)に有意な変化はみられなかった。

1日あたり及び体重あたりの基礎代謝量は、3群間に有意差が認められた。しかし、FFMあたりの基礎代謝量に有意差はなく、基礎代謝量にFFMが大きく寄与していることが示された。また、運動+摂取群と運動+非摂取群の間に3回の調査全てにおいて有意差はみられず、6ヶ月間で両群に有意な変動がなかったことから、運動+摂取群では牛乳の摂取が基礎代謝に及ぼす影響は無かったと考えられる。一方、対照+摂取群では1日あたり、体重あたり、さらにFFMあたりでも基礎代謝量は6ヶ月間で有意に変動しており、牛乳の摂取が基礎代謝に影響した可能性が示唆された。これについてはさらに詳細な検討が必要と考えられる。

一般血清生化学検査の結果をみると、運動+摂取群と運動+非摂取群の両運動群では、最も高強度なトレーニングが行われる夏期合宿の中間点である3ヶ月後に、摂取開始と比較して有意な変動が認められた測定項目が多かった。

血漿中アディポサイトカイン濃度については、運動+摂取群と運動+非摂取群のLeptinはほぼ同一レベルであり、3回の調査全てにおいて有意差はなかった。しかし、運動+摂取群と運動+非摂取群の両群と対照+摂取群との間には著しい違いがみられた。この違いは日常的に行われている長距離走によるものと思われる。Adiponectinは、有意ではないが運動+非摂取群では平均値が低下しているのに対して、運動+摂取群はしだいに増加し、6ヶ月後には有意差が認められた。対照+摂取群では3ヶ月後に低下したが、6ヶ月後には摂取開始より平均値は上昇していた。これらの、特に運動+摂取群にみられた変動は牛乳の摂取によると考えられ、インスリン抵抗性を改善するとされるAdiponectinに変化がみられた意義は大きい。なお、これらアディポサイトカインの変動は互いに関連しており、他の血液成分の変動とも合わせて、さらに慎重に検討する必要があると思われる。

血清総抗酸化能に関する指標では、血清ビタミンC濃度が3群全てで期間中に上昇した。しかし、NPSHは研究期間中に3群全てで3ヵ月後に有意に低下し、6ヵ月後に回復傾向を示したが、運動+摂取群では6ヵ月後も有意に低値であった。TBARは、運動+摂取群が運動+非摂取群に較べて低値を示し、3ヶ月後の時点で有意差が認められた。研究期間中に運動+摂取群には有意の変動はな

かったが、運動+非摂取群と対照+摂取群では摂取開始から低下し、6ヵ月後には2群共に有意差が認められた。高強度なトレーニングが行われる夏期合宿の中間点である3ヶ月後に運動+摂取群が有意に低値を示した事は、牛乳摂取による影響とも考えられる。しかし、運動+非摂取群においても研究期間中にTBARが低下しており、さらに詳細な検討が必要である。TAAは、運動+摂取群と運動+非摂取群の間で、摂取開始の時点で有意差が認められた。しかし、期間中に運動+非摂取群では有意の変動はなかったが、運動+摂取群では上昇傾向が継続し、摂取開始と6ヶ月後の間に有意差が認められた。したがって、運動+摂取群における継続したTAAの上昇傾向は、牛乳摂取による影響とも考えられる。競技選手では増大した酸素摂取による活性酸素種の産生増加が危惧されており、牛乳摂取によって生体内の抗酸化能が改善した可能性が示されたことは重要と考えられる。

謝 辞

本研究を行うにあたって被験者への牛乳の配布にご援助頂きました日本酪農乳業協会に厚くお礼申し上げます。また、運動群の調査で大変にお世話になりました渋谷マネージャーと相川マネージャーに別してお礼申し上げます。最後に、被験者として6ヶ月間の介入研究に協力して頂いた女子大生の皆様に深謝し、調査結果を健康増進の役に立てて頂きたいと願っております。