

長期的筋疲労の回復速度に及ぼす牛乳乳製品摂取の効果

東京大学大学院総合文化研究科生命環境科学系 助教授 石井直方
教授 小林寛道
助手 杉田正明

研究目的

牛乳および牛乳を原料とした食品は、多種のビタミン、ミネラルを含む他、身体の構成要素であるアミノ酸の含有比が理想的であるという特徴を持ち、必須アミノ酸含有量に基づくアミノ酸価では多くの場合100と評価される。こうした特徴は、身体の成長にとって有用であるばかりでなく、激しい運動による疲労の回復を早め、トレーニングなどの効果を高めるためにも重要であると考えられる。申請者らはすでに、高強度の伸張性筋運動（エキセントリックトレーニング）後に生ずる長期的な筋疲労の回復過程を経時的に分析することが、疲労回復過程を定量的に検定するよい手段となりうることに着目し、イソロイシン、ロイシン、バリン、グルタミンなどを主成分としたアミノ酸補助食品が筋疲労の回復を早めるかを調べた（石井、小林、杉田、公表準備中）。Double-blind testによる同一被検者での繰り返し検定の結果、これらのアミノ酸を摂取することにより、筋力回復過程の時定数が有意に低下する（疲労回復が早められる）ことが判明した。上記の通り、牛乳を原料とした食品には、これらのアミノ酸が豊富に含まれる上、ビタミン、ミネラル類との間での相乗作用の可能性も考えられるので、アミノ酸補助食品の場合と同様の効果があるものと期待される。本研究の目的は、申請者らの行っている検定法を用いて、牛乳乳製品の摂取が筋疲労の回復過程を改善するかを調べるものである。

6. 研究方法

定期的なトレーニングを行っていない健康成人男女11名（年齢24-30歳）を被検者とした。対象とした筋群は、肘屈筋および伸筋（non-dominant side）で、それぞれの筋に高強度のエキセントリック・トレーニングを施し、トレーニング直後の筋力低下、および筋力回復過程の速度に及ぼす乳製品摂取の効果を定量化した。実験のプロトコールは以下の通りである。

- 1) 等速性筋力計（DTM-0009、酒井医療機械製）を用い、屈筋および伸筋の等尺性、短縮性（速度、15 rpm）、伸張性（速度、-15 rpm）のそれぞれの筋力を測定した。
- 2) 引き続き同じ筋力計で、屈筋、伸筋のそれぞれに対し、最大努力下の伸張性トレーニング（速度、-15 rpm）を 8 reps×3 sets 行わせた。筋力を肘関節角度に関し積分して総仕事量（外界からなされた仕事）を求め、トレーニング容量とした。

3) トレーニング直後、1日後、2日後、3日後、4日後、5日後、10日後に1)と同様にして筋力を測定し、屈筋および伸筋のそれぞれにつき、等尺性、短縮性、伸張性筋力のそれぞれの低下と回復の過程を経時的に測定した。

4) 上記(対照実験)後十分な期間(約12ヵ月)を置き、トレーニング3日前から14日間にわたり乳製品(牛乳またはヨーグルト)を1リットル/日摂取(通常、朝、昼、晩の3回に分けて摂取)させながら、1)~3)と同じ測定を行った。トレーニング容量は、上記とほぼ同じになるように調節した。また、対照実験では、実験期間中乳製品はいっさい摂取させないようにした。

5) 実験期間中は、被検者各個人に摂取した食品すべての名称と量(乳製品を摂取する場合は製造元、商品名、および摂取方法の詳細)を記録させた。また、ストレッチ、マッサージなど、筋疲労の回復を促進する可能性のある処置、逆に夜更かし(睡眠不足)、飲酒など、疲労の回復を遅延させる可能性のある行為を回避させた。

対照実験と乳製品摂取実験の間に長期間を置いた理由は、伸張性トレーニング自体に、疲労回復を早めるトレーニング効果があり、この効果が数ヵ月残存する可能性があるからである。

7. 結果と考察

1) エクササイズの強度と容量

図1に、肘屈筋のエキセントリック・エクササイズにおける各レップの筋力発揮(ピーク)の平均値を、それぞれのセットごとに示す。レップを重ねるごとに筋力発揮のピーク値が低下する傾向が顕著である。実験群と対照群を比較すると、筋力発揮の値、その低下の傾向のいずれにも有為な違いが見られず、エクササイズの強度、容量ともにはほぼ同等であったことが示唆される。肘伸筋群のエクササイズについても、ほぼ同様の結果が得られた。なお、11名中1名については、肘伸筋群のエクササイズ中に痛みを生じたため、そのデータを除外してある。

2) 筋疲労に対する乳製品摂取の効果

1)で述べた、最大強度下でのエキセントリック・エクササイズ後の筋疲労(筋力低下)の回復過程につき、対照群(乳製品非摂取)と実験群(乳製品摂取)のそれぞれの場合を比較した。摂取した乳製品(1 l/day)は、11名中9名が牛乳(成分無調整)、2名がヨーグルトであった。

肘屈筋群については、エクササイズ直後から1日後にかけて、最大筋力が約70%に低下し、その後指数関数的に回復する傾向が見られた(図2)。等尺性、および伸張性筋力は10日後にはほぼ完全に回復したが、短縮性筋力は完全には回復しないようであった。乳製品を摂取すると、等尺性筋力では、エクササイズ直後から4日後にかけての筋力低下が有

為 ($P<0.05$, paired t -test) に低減された。疲労の回復速度について、ハーフタイム ($t_{1/2}$) で比較すると、乳製品摂取群で約4日、対照群で約6日となり、乳製品摂取により改善される傾向が見られた。一方、短縮性、伸張性筋力の低下とその回復過程については、乳製品摂取群と対照群で有意な差はみられなかったものの、筋力の回復速度が乳製品摂取によりやや大きくなる傾向が見られた。全体として個人差が大きく、最も顕著な効果を示した被検者では、等尺性、短縮性、伸張性いずれの場合でも、筋力低下の程度とその回復速度で大きな改善が見られた (図3)。なお、11名中3名については、実験中に痛みを生じたり (1名)、回復期間中に浮腫を生じたため、除外してある。

肘伸筋群では、エクササイズ直後の筋力低下がより大きく (等尺性、短縮性、伸張性のいずれの場合でも平均約60%)、また、筋力低下の程度、筋力の回復速度ともに乳製品摂取群と対照群の間で顕著な差は見られなかった。

これらから、継続的な乳製品摂取が、高強度のエキセントリック・エクササイズによる肘屈筋群の筋力低下とその回復速度を改善し、その効果は、等尺性筋力において最も顕著に現れることが明らかになった。この結果は、分岐鎖アミノ酸を中心とした複合アミノ酸補助食品を摂取した場合 (Kobayashi et al., in preparation) と同様であり、乳製品摂取の効果が、主として乳製品に含まれる必須アミノ酸によるものであることを示唆する。しかし、等尺性筋力についての効果は、乳製品の方が、複合アミノ酸の場合よりもむしろ大きく、乳製品に含まれるビタミン類や無機塩類、小分子タンパク質などが、付加的効果をもたらした可能性もある。逆に、乳製品の効果は、アミノ酸の効果と比べて個人差が大きい傾向が見られた。これは、日常的な食生活の差異によって、乳製品の消化吸収効率に個人差があるためと想像される。実際、5名の被検者が、実験期間中、軽い下痢や食欲不振などの症状を訴えた。

肘伸筋群で顕著な効果が現れなかった原因については、エクササイズ中の筋力発揮が肘屈筋群に比べて大きく、その結果筋に与えるダメージが大きすぎた点、日常的な筋力発揮形態が等尺性、短縮性筋力発揮中心であり、伸張性筋力発揮に不慣れであった点などが考えられる。従って、日常的にトレーニングを行なっている被検者を用いれば、異なる結果が得られる可能性もある。

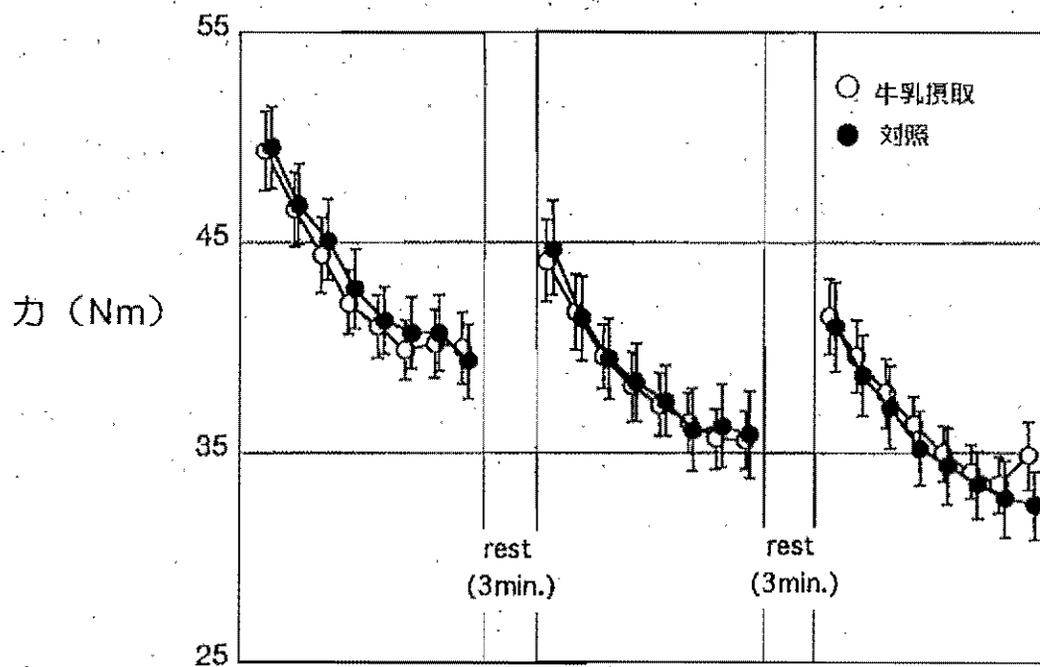


図1. 肘屈筋の伸張性トレーニング（合計3セット）における各レップでの筋力発揮。対照実験、牛乳摂取実験の双方ではほぼ同じ強度、および量の運動がなされたことを示す。mean \pm S.D. (n=10).

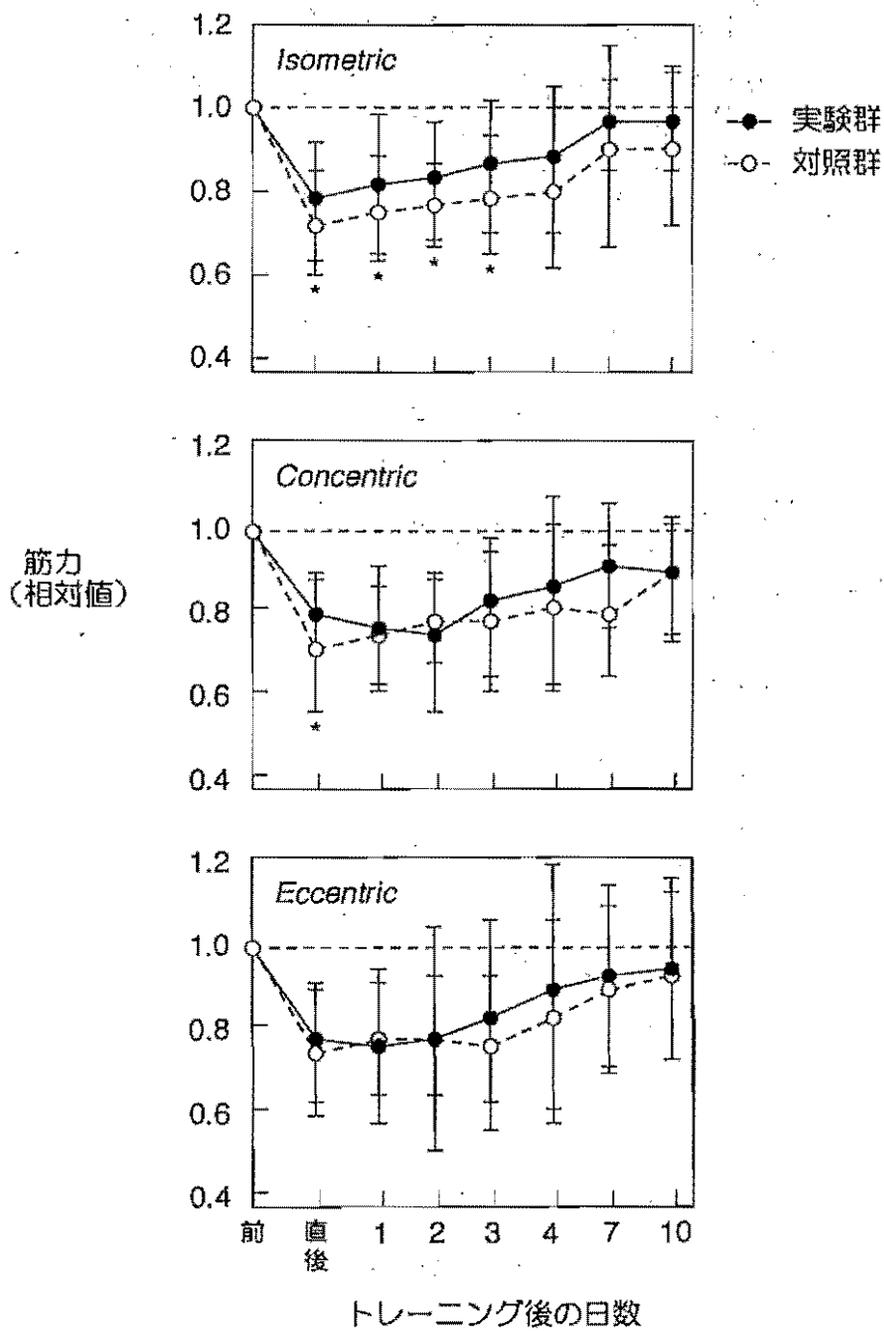


図2. 肘屈筋におけるトレーニング後の筋力低下とその回復過程。平均値±標準偏差 (n=8) で示す。黒丸は実験群 (乳製品摂取), 白丸は対照群を示す。実験群と対照群の間で統計的有意差 ($P<0.05$) のあるものを*で示す。

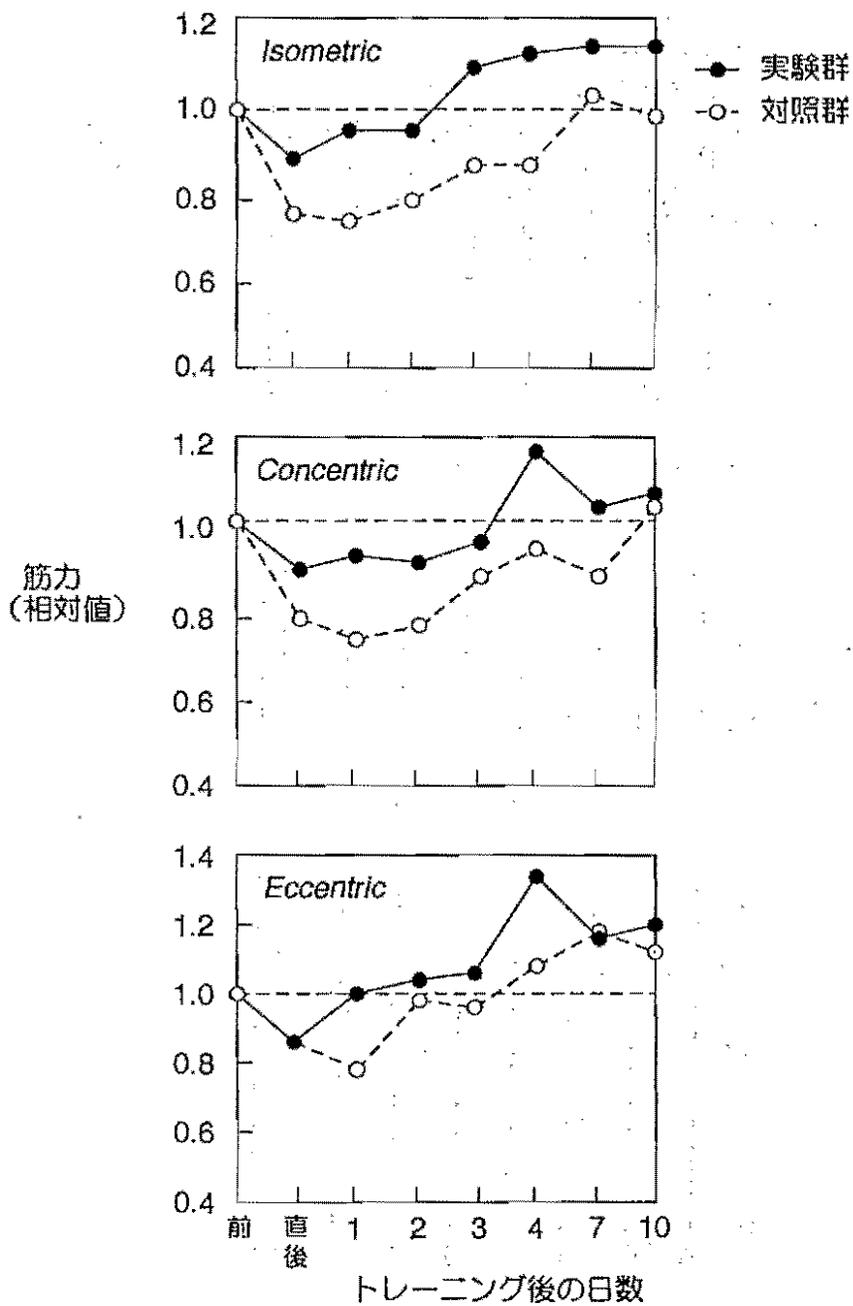


図3. 肘屈筋におけるトレーニング後の筋力低下とその回復過程。最も大きな効果を示した被検者の1例。