

運動後の継続的な分岐鎖アミノ酸摂取が筋損傷に与える影響

三上陽輝¹⁾, 安田俊広²⁾

Influence of continuous intake of Branched-chain Amino Acid on muscle damage after exercise

Haruki MIKAMI¹⁾, Toshihiro YASUDA²⁾

Abstract

It has been recently reported that branched-chain amino acids (BCAA) are effective in the suppression of post-exercise-induced muscle damage and associated delayed-onset muscle pain (DOMS). In the experiment by Shimomura et al. (2007) on the timing of effective intake of BCAA, intake before exercise was reportedly likely more effective than that after exercise. However, there were challenges with this study in that sufficient muscle damage was not caused and total intake of BCAA was inadequate. Considering that muscle damage is caused 24–48 h after exercise, continuous intake of BCAA after exercise may be more effective. Therefore, this study investigated the effect of continuous intake of BCAA after stimulating muscle damage to evaluate its effects on muscle damage after exercise. Two experiments were conducted in this study. In Experiment 1, eight participants were categorized into a placebo (n = 4) and BCAA group (n = 4). Electrical stimulation was added to eccentric muscle contraction exercises to induce muscle damage, and participants consumed the test beverage continuously, with isometric muscle strength, DOMS, circumference, and range of motion (ROM) measured for 4 days. In Experiment 2, muscle damage markers in the blood were measured and evaluated thoroughly. Markers of injury in blood included creatine kinase (CK), lactate dehydrogenase (LDH), and myoglobin (Mb). As muscle damage indices, isometric muscle strength, DOMS, circumference, and ROM were measured. In Experiment 1, a significantly lower DOMS was observed in the BCAA compared with the placebo group 24 and 48 h after exercise completion. There were no significant differences between the groups in isometric muscle strength, circumference, or ROM. In Experiment 2, isometric muscle strength was significantly higher in the BCAA compared with the placebo group 72 and 96 h after exercise completion. CK, LDH, and Mb were significantly lower in the BCAA than in the placebo group 48, 72, and 96 h after exercise completion. A significantly lower DOMS was observed in the BCAA group than in the placebo group 48 and 72 h after exercise completion. There were no significant differences in circumference between the groups. In conclusion, the findings of the present study suggest that continuous BCAA intake after exercise is effective in reducing muscle damage and inducing early recovery.

Key words : skeletal muscle, eccentric contraction, isometric strength, electrical stimulation, creatine kinase
キーワード : 骨格筋, 伸張性筋収縮, 等尺性筋力, 電気刺激, クレアチンキナーゼ

-
- 1) 福島大学 人間発達文化研究科
〒960-1296 福島県福島市金谷川1番地
2) 福島大学 人間発達文化学類
〒960-1296 福島県福島市金谷川1番地

1. 緒言

不慣れな運動や伸張性筋収縮を含む筋活動を行なった翌日に筋損傷が引き起こされ、筋痛が発現する。筋損傷とそれに伴う筋痛は筋力や関節可動域の低下を引き起こし日常生活活動やアスリートのパフォーマンスに悪影響を及ぼすことから (Cheung et al., 2003), 筋損傷の防止や軽減の方法を検討することは重要な課題である(川岡ら, 2007)。

Blomstrand et al. (2001) は分岐鎖アミノ酸 (Branched-Chain Amino Acids: 以下「BCAA」と略す) 摂取が運動後にアミノ酸の血中への流出を抑制すること、運動後のタンパク同化作用があることを明らかにした。BCAA とは、20 種類あるアミノ酸のうち体内で作ることのできない9種類の必須アミノ酸に属するバリン、ロイシン、イソロイシンの総称である。BCAA は筋タンパク質の約 35%、必須アミノ酸の約 50%を占めるアミノ酸であり、タンパク質に多く含まれ、運動などによってエネルギー代謝が亢進したときは、比較的多く酸化分解される。特に BCAA のロイシンはインスリン分泌を促し(Sener, A. and Malaisse, 1981), タンパク質の分解抑制(Yoshizawa et al, 2005), 合成促進効果(Anthony et al., 2000)により、運動後の筋損傷を軽減する可能性が考えられる。

下村ほか(2007)は、スクワット運動直後の 5.5g の BCAA 摂取は遅発性筋痛 (Delayed Onset Muscle Soreness : 以下「DOMS」と略す)、血清クレアチンキナーゼ (Creatine Kinase : 以下「CK」と略す) 活性、血清ミオグロビン (Myoglobin : 以下「Mb」と略す) 濃度の各値がプラセボ群に対して減少する傾向にあるが、有意な差ではなかったこと、スクワット運動前に 5 g の BCAA を摂取させた Shimomura et al. (2006) の実験と比較すると、その効果が小さかったことを報告している。これらの結果は BCAA が筋損傷の予防に寄与しない可能性を示している。しかし下村ほか(2007)の研究では、血中筋損傷マーカーの数値が健常者としての臨床検査基準値の正常値範囲内であったことから損傷刺激(スクワット運動)が弱く、筋損傷の程度が小さかった可能性がある。また摂取した BCAA は運動後に 1 回のみである。筋損傷やそれに伴う筋痛は運動後 24-72 時間後に生じる(Newham et al., 1983, pp.3; Armstrong, 1984, pp.3; Bobbert et al., 1986, pp.3)こと考えると、運動後継続的に BCAA を摂取することが筋損傷を予防・軽減するために重要である可能性がある。しかし運動後に継続的に BCAA を摂取させ、筋損傷を観察した報告は見られない。

2. 目的

本研究の目的は運動後に継続的に BCAA を摂取し、BCAA が筋損傷の予防・軽減に影響を与えるか否かを検討することである。

3. 方法

分岐鎖アミノ酸摂取が筋損傷に与える影響

(1) 被験者および群分け

実験1の被験者は、健康な一般大学生8名とした(うち男性5名, 女性3名)。被験者の身体的特徴は年齢 22.3 ± 0.4 歳, 身長 170.1 ± 5.2 cm, 体重 61.3 ± 8.7 kg であった。被験者を損傷運動後に BCAA を摂取させる群(以下 BCAA 群)4名, プラセボ飲料を摂取させる群(以下プラセボ群)4名に分けた。

実験2の被験者は、健康な一般男子学生11名で被験者の年齢, 身長, 体重はそれぞれ 21.8 ± 0.6 歳, 171.3 ± 4.6 cm, 63.2 ± 6.4 kg であった。被験者を BCAA 群を6名, プラセボ群5名に分けた。

激しい運動をするとその後数週間にわたって筋損傷や筋痛の程度に影響を与えるため, 本研究の被験者は日常的に高強度の運動や筋力トレーニングを行っていない者とした。また両実験共にダブルブラインド法を用い, 験者, 被験者以外の第三者が試験飲料の分注を行った。

(2) 実験デザイン

実験1週間前より BCAA 飲料やサプリメントの摂取を禁止し, 実験前日の21時以降の水以外の飲食を禁止した。実験当日は実験室に朝9時に集合し測定を行った。測定項目は, 等尺性筋力, DOMS, 肘関節可動域, 上腕周囲長とした。実験2では上記に加え血中逸脱タンパクの測定を行った。測定後速やかに筋損傷刺激の運動を実施した。実験1では腕にエキセントリック運動をさせると同時に電気刺激を与え筋損傷を誘発した。実験2では上腕と下腿の筋に対してエキセントリック運動を行った。損傷刺激後, 再び上記の測定を行った後, BCAA もしくはプラセボ飲料を摂取させた。試験飲料はその後, 2時間30分おきに計6回摂取させた。実験2日目以降は午前9時に実験室に集合し同様の測定を実施した後, 試験飲料を2時間30分おきに計6回摂取させた。

(3) エキセントリック運動

腕に対するエキセントリック運動は, 肘関節屈曲位(90°)から, 肘関節伸展位(0°)の範囲を3秒かけて強制的に伸展させる他動的な動作に対し最大抵抗後, 3秒かけて元の位置に戻すエキセントリック運動を2分間計20回行なった。実験2では損傷する筋量を増やすために, 腕に加えて下腿のエキセントリック運動を行った。坂野裕洋(2009)の方法にしたがい, 高さ5cmの台上に母指球まで乗せ, かかとを1秒上げ, 1秒下げる運動を2分間, 左右それぞれ行なった。このときの負荷は体重とした。

(4) 骨格筋電気刺激(実験1)

電気刺激には, 骨格筋電気刺激装置(MixiuEMS)を使用し刺激周波数は20Hz, 刺激強度は9段階のうち, 本人が耐えられる最大強度とした。電極パッドは上腕の左右から上腕二頭筋を挟むように貼付した。

(5) 試験飲料

BCAA 飲料は水250ml中にBCAA(バリン:ロイシン:イソロイシン=1:2:1)を2g, 人工甘

分岐鎖アミノ酸摂取が筋損傷に与える影響

味料パルスイート（味の素社製）を溶かした飲料，プラセボ飲料は水 250ml 中にパルスイートを溶かした飲料を用いた。

（6）測定項目

・等尺性筋力

等尺性筋力はストレインゲージ（パフォーマンスレコーダーHUR9200）を使用し，肘関節もしくは足関節を 90° の状態で，上腕の屈曲筋力もしくは下腿の足底屈筋力の測定を運動前，運動直後，運動終了 24，48，72，96 時間後に測定した。試技回数は 2 回とし良い方の記録を採用した。

・DOMS

DOMS は 100mm のスケールを用い，運動前，運動終了直後，運動終了 24，48，72，96 時間後に験者が圧迫した際の痛みの程度を Visual Analog Scale: VAS 法で評価した。VAS 法とは視覚的評価スケールとも呼ばれ，痛みの程度を測定する方法の一つである。100mm のスケールの左端を 0(無痛)，右端を 100(過去に経験した最大の痛み)とし，現在の痛みの程度を評価させ，左端から数値までの長さを測定し，痛みを数値化した。

・周囲長

周囲長はメジャーを使用し，運動前，運動直後，運動終了 24，48，72，96 時間後に上腕および下腿の最も太い部分を測定した。

・関節可動域（実験 1）

関節可動域は肘最大伸展位から最大屈曲位までの範囲とした。基本軸を上腕骨，移動軸を橈骨とし，前腕は回外位とし測定を行なった。

・血中逸脱タンパク

運動前，運動終了 24，48，72，96 時間後に，肘正中皮静脈から 3ml 採血した。血液サンプルは 3000rpm で 10 分間遠心分離機にかけ血清約 1.2ml を分離し冷凍保存を施し，全ての実験が終了した後に，血清 CK 活性値，血清 LDH 活性値，血清 Mb 濃度の分析を株式会社 SRL に委託した。

（7）統計処理

実験結果は全て平均値±標準偏差で示し，BCAA 群とプラセボ群の差の検定は，t-test にて行なった。相関関係は，相関係数 (r) ≥ 0.9 を強い相関， $r \geq 0.7$ をやや強い相関， $r \geq 0.5$ をやや弱い相関， $r < 0.5$ を相関なしと定義した。なお，有意水準 (p) は全て 5%未満とした。

（8）研究倫理について

本研究は人を対象とする研究倫理指針に基づき，福島大学研究倫理審査委員会の承認を得て実施した。被験者には得られたデータは全て統計的に処理し，符号化することによって個人が特定されないよ

分岐鎖アミノ酸摂取が筋損傷に与える影響

うにすること、研究目的以外には使用しないこと、研究成果の発表がある事などを文書にて説明し実験参加への承諾を得た。また、各被験者には口頭にて実験の内容と危険性、実験はいつでも中断できること、中断に伴う不利益はないことを十分に説明し、試験飲料摂取や測定に伴う体調の変化についても確認した。

4. 結果

(1) 等尺性筋力

等尺性筋力は運動前の値を 100%としてその変化率を表した。

実験 1 における上腕屈曲筋力は運動直後に BCAA 群が $72.5 \pm 3.9\%$ 、プラセボ群で $69.5 \pm 15.3\%$ まで低下した。運動直後の低下率は両群間に有意な差は見られなかった。上腕屈曲筋群の等尺性筋力は運動終了 24 時間以降 BCAA 群がプラセボ群よりも高値を示していたが有意な差は見られなかった (図 1)。

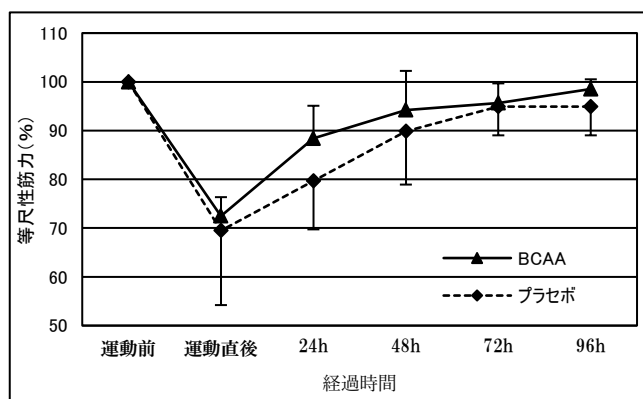


図 1 上腕屈曲筋の等尺性筋力の変化率

実験 2 における上腕屈曲筋力も実験 1 と同様、運動終了直後に 70%前後まで低下したが、プラセボ群において 24 時間後の筋力が最も低値となった (図 2)。プラセボ群はその後の筋力回復が遅れ運動 96

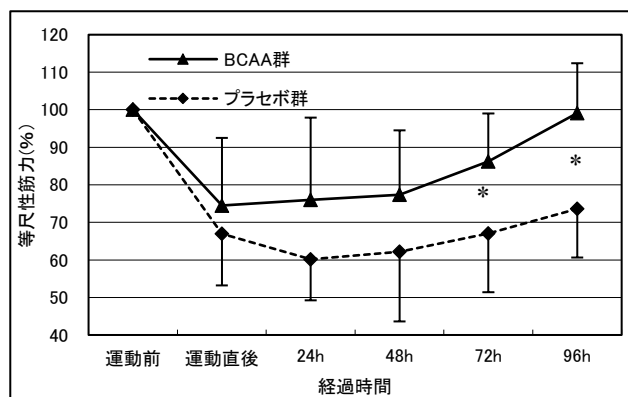


図 2 上腕屈曲筋の等尺性筋力の変化率 * : $p < 0.05$, プラセボ群 vs. BCAA 群

分岐鎖アミノ酸摂取が筋損傷に与える影響

時間後においても運動前の値に回復しなかった。一方 BCAA 群は早く回復する傾向があり、運動終了 72、96 時間後において BCAA 群がプラセボ群より高値を示し有意な差が見られた。足部底屈筋力も同様に運動終了 24、72 時間後に BCAA 群がプラセボ群より高値を示し有意な差が見られた。

(2) DOMS

実験 1 において、運動終了 24、48 時間後に BCAA 群がプラセボ群より低値を示し有意な差が見られた。運動終了 72、96 時間後の測定では両群間に有意な差は見られなかった (図 3)。

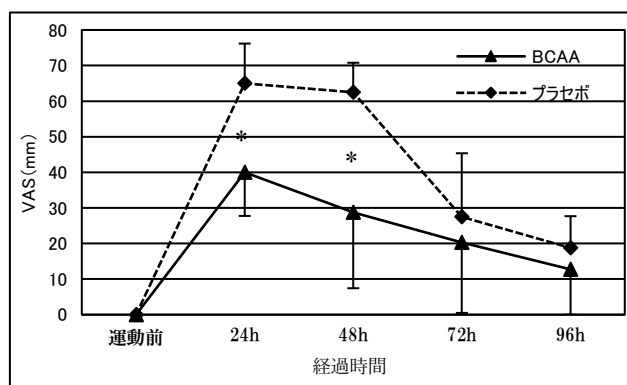


図 3 DOMS の変化 (実験 1) *: $p < 0.05$, プラセボ群 vs. BCAA 群

実験 2 では、上腕の DOMS は運動終了 48 時間後に BCAA 群、プラセボ群共にピークを示し (それぞれ $53.3 \pm 25.0\text{mm}$ と $80 \pm 12.3\text{mm}$) その後低下した。運動終了 48 時間後と 72 時間後において、BCAA 群がプラセボ群に対して低値を示し有意な差が認められた (図 4)。下腿の DOMS も腕と同様のピークを示したが、両群間に有意な差は見られなかった。

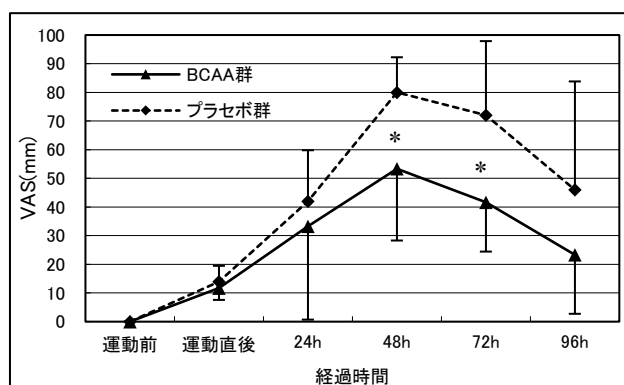


図 4 DOMS の変化 (実験 2) *: $p < 0.05$, プラセボ群 vs. BCAA 群

(3) 上腕周囲長

実験 1 における上腕周囲長を図 5 に実験 2 におけるそれを図 6 に、運動前を 100% としてその変化率を表した。実験 1、2 共に上腕周囲長は損傷刺激後に増加する傾向にあるが、運動前との比較において

も BCAA 群とプラセボ群との比較においても有意な差は見られなかった。

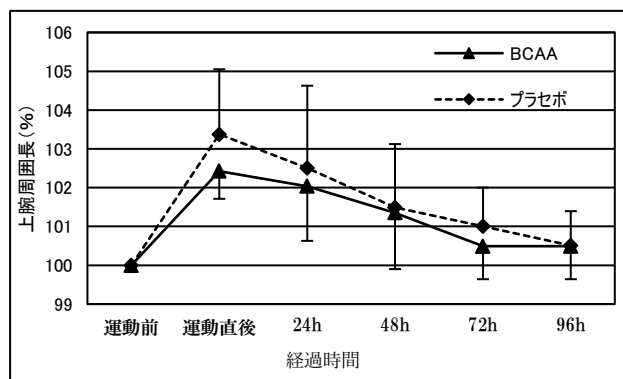


図 5 上腕周囲長の変化率 (実験 1)

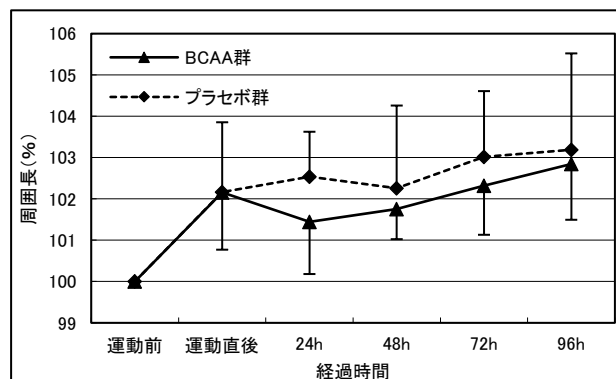


図 6 上腕周囲長の変化率 (実験 2)

(4) 関節可動域

肘関節の関節可動域を運動前を 100%としてその変化率を図 7 に表した。

関節可動域は運動直後において BCAA 群がプラセボ群より低値を示し有意な差が見られた。その後、両群間に有意な差は認められなかった。

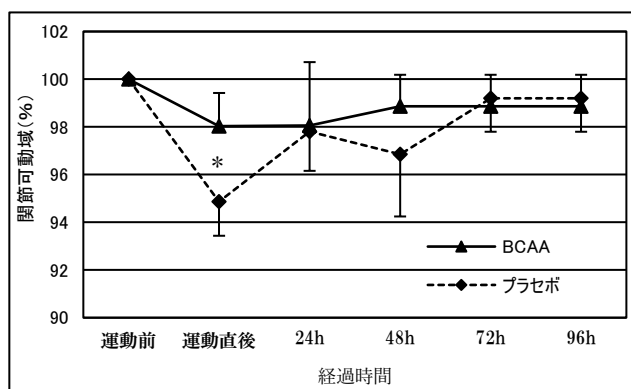


図 7 関節可動域の変化率 *: $p < 0.05$, プラセボ群 vs. BCAA 群

(5) 血中逸脱タンパク

血中逸脱タンパクの結果を表 1 に示した。血清 CK 活性値はプラセボ群において運動終了 72, 96 時間後において運動前より高値を示し, BCAA 群では運動終了 24 時間以降において運動前より高値を示し有意な差が見られた。また, 運動終了 48 時間後から運動終了 96 時間後まで BCAA 群がプラセボ群より低値を示し有意な差が見られた。

血清 LDH 活性値はプラセボ群において運動終了 72 時間, 96 時間後において運動前より高値を示し, BCAA 群では 96 時間後において運動前より高値を示し有意な差が見られた。また, 運動終了 48

分岐鎖アミノ酸摂取が筋損傷に与える影響

時間後から運動終了 96 時間後まで BCAA 群がプラセボ群より低値を示し有意な差が見られた。

血清 Mb 濃度はプラセボ群において運動終了 48 時間以降、BCAA 群において 96 時間後において運動前より高値を示し有意な差が見られた。また、運動終了 48 時間後から運動終了 96 時間後まで BCAA 群がプラセボ群より低値を示し有意な差が見られた。各被験者の血清 CK 活性値のピーク値の比較では、BCAA 群がプラセボ群より低値を示し有意な差が見られた (図 8)。血清 LDH 活性値、血清 Mb 濃度のピーク値においても血清 CK 活性値と同様に BCAA 群がプラセボ群よりも低値を示した。

表 1 血中逸脱タンパクの変化

血中逸脱タンパク	Pre	24h	48h	72h	96h
CK (U/L)					
プラセボ	731±1436	1090±1155	2947±2741	11113.4±9681 †	14686.6±9667 †
BCAA	107±42	288.5±221 †	837±944* †	2201.2±2618* †	3363.5±2927* †
LDH (U/L)					
プラセボ	189±67	214±59	276.6 ±96	544±308 †	608.4±295 †
BCAA	160±25	160±29	162.2±92*	226.3±98*	262.7±104* †
Mb (ng/ml)					
プラセボ	62±56	295±348	705.2±551 †	1576±1348 †	1286±1238 †
BCAA	33±11	179±234	160.7±189*	458.3±587*	302±193* †

数値は各血中逸脱タンパクの平均値±標準偏差を示す

*: p<0.05, プラセボ群 vs. BCAA 群 †: p<0.05, vs.運動前

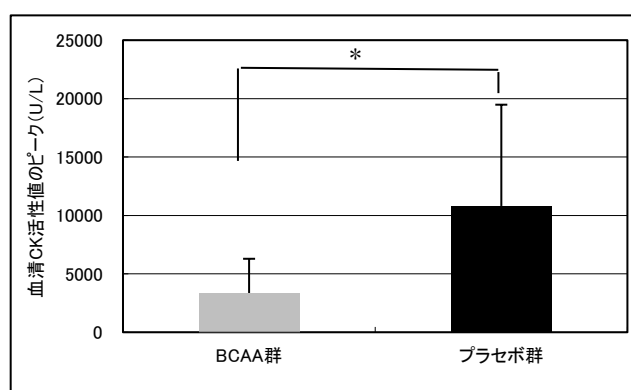


図 8 血清 CK 活性ピーク値 *: p<0.05, プラセボ群 vs. BCAA 群

(6) 血中逸脱タンパクと DOMS との関係

被験者個人の血清 CK 活性のピーク値と DOMS のピーク値との相関関係を図 9 に示した。両者の間には相関関係が認められなかった。また、血清 Mb 濃度および血清 LDH 濃度のピーク値と DOMS との間においても同様であった。

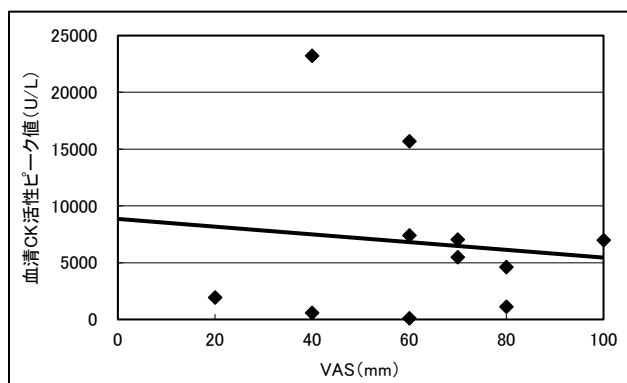


図 9 DOMS と CK 活性ピーク値との関係

5. 考察

下村ほか(2007)は、運動後に BCAA を 1 回摂取するだけでは筋損傷に効果がないと報告している。しかしこの筋損傷刺激は、スクワット運動を 2 秒に 1 回行うペースとし、20 回を 1 セット、合計 7 セット実施し、セット間に 3 分の休憩をおくものであったが、血清 CK 活性ピーク値が 120 IU/L と臨床検査基準値に定められた正常値の範囲内であり、筋損傷を生じさせるには運動負荷が低かったと考えられる。また、BCAA を運動後に 5.5g を 1 回摂取するのみであったため、筋損傷やそれに伴う遅発性筋痛などに与える影響は十分でなかった可能性がある。

そこで本研究は大きな筋損傷を確実に起こすために実験 1 において、腕にエキセントリック運動と骨格筋電気刺激を同時に加えた。また BCAA を継続的に摂取させることで血中アミノ酸濃度を高く維持させることを意図した。血中アミノ酸濃度を高い状態で維持するにあたって、濱田ほか(2005)は BCAA を 1 回摂取することで血中 BCAA 濃度を十分に増大できる量を検討している。その結果、摂取 2 時間後に摂取前と比較し血中 BCAA 濃度に有意な差が見られたのは BCAA を 2000mg 以上摂取した群であった。この先行研究を元に、本研究でも BCAA を 1 回 2000mg とし 2 時間 30 分おきに摂取させ血中 BCAA 濃度が高くなる摂取方法を採用した。

等尺性肘屈曲筋力

実験 1 において上腕屈曲筋の等尺性肘屈曲筋力は両群間に有意な差は見られなかったものの、運動終了 24 時間後以降、BCAA 群がプラセボ群に対して高値を示した。野坂(2005)は激しい損傷刺激を与

分岐鎖アミノ酸摂取が筋損傷に与える影響

えると運動後に運動前の約 50%まで筋力が低下し、96 時間を経過しても運動前の約 60%程度までしか回復しないことを示している。しかし本研究では運動直後の上腕屈曲筋力は BCAA 群が $72.5 \pm 3.9\%$ 、プラセボ群は $69.5 \pm 15.3\%$ と野坂 (2005) の研究に比べて低下の割合が低かった。また、運動終了 96 時間後では両群共にほぼ運動前と同程度にまで回復していた。このことは実験 1 で用いた損傷刺激（エキセントリック運動プラス電気刺激）が、顕著な筋損傷を引き起こすには十分でなかった可能性がある。しかし、実験 2 でも同様のエキセントリック運動を行わせたが実験 2 ではプラセボ群において 96 時間後も筋力が低下したままであった。運動直後の筋力低下は筋疲労の影響を受けるが(Edwards et al. 1977)、運動後 24 時間以降の筋力低下は筋損傷によるものと考えられる。実験 2 で観察された運動後 24 時間以降の筋力は、筋損傷を扱った Eston et al. (2000) や Mizrahi et al. (2001) の値と同程度かより大きな低下を示しており、実験 2 の損傷刺激が十分な筋損傷を引き起こしたと考えられる。実験 1 と 2 で筋力低下の様相が異なった原因は定かではないが、被験者の運動習慣の違いが影響したのかもしれない。一度筋損傷が生じた筋には、その後数週間は筋損傷が生じにくくなる繰り返しの効果がある(Nosaka and Clarkson, 1995)。本研究の被験者は日常的に運動をしていない者としていたが数週間前までさかのぼって統制している訳ではなくその影響を受けた可能性がある。

DOMS

DOMS においてはピークの時間は異なるものの実験 1, 2 ともに著しい増加が観察され、筋痛が生じていることが確認出来た。また BCAA 群がプラセボ群と比較して低値を示し、運動後の BCAA の継続的な摂取は筋痛の低減に効果がある可能性が示唆される。下村ほか (2007) の研究では運動後 24, 48 時間後に平均して最大の痛みの 50%程度の筋痛が生じたことを報告しているのに対し、本研究では最大の痛みの 65%程度 (実験 1) から 80%(実験 2)の筋痛が生じており、より大きな筋痛を引き起こしていたと考えられる。また BCAA を継続摂取することで DOMS が低下しており、BCAA を摂取する量とタイミングが適切であれば筋痛軽減に効果が期待できると考えられる。

実験 2 では DOMS のピークが運動 48 時間後であったのに対して、血中逸脱酵素のピークは 72-96 時間後に観察された。野坂 (2020) は DOMS とは機械的刺激に対する痛覚過敏の状態であり、通常状態では痛みを感じないような圧力でも感受性が上がることで痛みを感じるが、必ずしも筋損傷の程度と一致するわけではないとしている。本研究においても DOMS のピーク値と血中逸脱タンパクのピーク値との間に相関関係はなく、筋損傷と筋痛とは独立している様子が確認された。

周囲長と関節可動域

筋損傷時には浮腫や拘縮による関節可動域の低下が観察されることがあるが、本研究において実験 1, 2 ともに上腕周囲長には統計的に有意な差が見られなかった。関節可動域については、運動直後に

分岐鎖アミノ酸摂取が筋損傷に与える影響

両群間で有意な差が見られたが、その後は両群間に有意な差は見られなかった。本研究の筋損傷刺激は、損傷は引き起こしてはいるものの浮腫や関節可動域に変化を与えるほどの刺激ではなかった可能性がある。

血中逸脱タンパク

CK, LDH, Mb は元々骨格筋や心筋に多く存在するタンパクで血中にはほとんど存在しない。しかしエキセントリック収縮や高強度の運動などを行い筋が損傷すると、血中にこれらのタンパクが流出する(Bär et al. 1990, pp.5: Bär and Amelink, 1992, pp.5)。したがって血中に逸脱した CK, LDH, Mb の量は損傷をある程度反映するものとして筋損傷の指標として用いられる。本研究において血中逸脱タンパクは運動終了 96 時間後までに運動前と比較し顕著に高い値を示し有意な差が見られた。このことから本研究の刺激は筋損傷を引き起こすのに十分であったと考えられる。

また、本研究において BCAA の継続摂取は損傷による血中逸脱タンパクの増加を著しく低下させていた。DOMS 等の主観的指標に対し、血中タンパクレベルは意思の力で変えることが出来ない客観的指標であり、BCAA が筋損傷を軽減したことが示唆される。

6. 結論

本研究では運動後の継続的な BCAA 摂取が筋損傷の予防・軽減に影響を与えるか否かを明らかにすることであった。この目的を達成するため、実験 1 ではエキセントリック収縮に電気刺激を併用することで、大きな筋損傷を引き起こし、運動後の継続的な BCAA 摂取の影響を検討し、実験 2 では血中逸脱タンパクの測定を行い、BCAA の効果を客観的指標で評価した。

実験 1, 2 より運動後の継続的な BCAA 摂取は筋損傷の軽減や早期回復に効果があることが確認された。また、DOMS は筋損傷の程度と一致しない可能性があるが日常生活やトレーニングに支障をきたすため、BCAA 摂取によって筋痛を抑制することは十分意味のあることと考えられる。

BCAA はインスリン様作用によるグルコースの取り込みを促進し、タンパク質の合成を補助、促進させる効果から筋損傷軽減効果が期待できると考えられるが、本研究ではインスリンやタンパク質合成に関わるタンパク・遺伝子発現を測定していない。したがって今後はこれらの指標を測定していく必要がある。

参考文献

Anthony, J.C., Yoshizawa, F., Anthony, T.G., Vary, T.C., Jefferson, L.S., and Kimball, S. R. (2000) Leucine stimulates translation initiation in skeletal muscle of postabsorptive rats via a rapamycin-sensitive

- pathway. *The Journal of nutrition*, 130: 2413
- Armstrong, R.B.(1984) Mechanisms of exercise-induced delayed onset muscular soreness: a brief review. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 16: 529-38
- 坂野裕洋(2009) 下腿三頭筋の遅発性筋痛が歩行動作に与える影響 日本福祉大学健康科学論集, 22:1-8.
- Bär, P.R., and Amelink, G.J.(1992) Creatine kinase and its isoenzymes as indices for muscledamage. In: P. P. de Deyn. (eds.) *In Guanidino compounds in biology and medicine*. Lebbey, pp. 231-238
- Bär, P.R., Amelink, G.J., Jackson, M.J., Jones, D.A., and Bast A.(1990) Aspects of exercise-induced muscle damage. In: G.P.H.Hermans.(ed.) *In Sports medicine and health*. Elsevier Science Publishers, pp. 1143-1148
- Blomstrand, E., and Saltin, B.(2001) BCAA intake affects protein metabolism in muscle after but not during exercise in humans. *American journal of physiology. Endocrinology and metabolism*, 281: 3-10.
- Bobbert, M.F., Hollander, A.P., and Huijig, P.A.(1986) Factors in delayed onset muscular soreness of man. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 18: 75-81
- Cheung, K., Hume, P. A. and Maxwell, L. (2003) Delayed Onset Muscle Soreness. *Sports Medicine*. 33: 145-164.
- Edwards, R.H., Hill, D.K., and Jones, D.A.(1977) Fatigue of long duration in human skeletal muscle after exercise. *Journal of neurobiology and physiology*, 272: 769-778.
- Eston, R.G., Lemmy, A.B., and McHugh, P.(2000) Effect of stride length on symptoms of exercise-induced muscle damage during a repeated bout of downhill running. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 10: 199-204
- 濱田広一郎・木場孝繁・桜井政夫・松本圭太郎・樋口智子・今泉記代子・早瀬秀樹,上野裕文(2005) 分岐鎖アミノ酸飲料の単回摂取に対する血中分岐鎖アミノ酸応答 日本臨床栄養学会雑誌, 27: 1-10.
- 川岡臣昭・小野寺昇・詫間晋平(2007) 遅発性筋肉痛および運動誘発性筋損傷研究における予防・対処法に関する文献的知見 川崎医療福祉学会誌, 17: 247-262
- Mizrahi, J., Verbitsky, O., and Isacov, E.(2001) Fatigue-induced changes in decline running. *Clinical biomechanics*, 16: 207-212.
- Newham, D.J., McPhail, G.,Mills, K.R., and Edwards, R.H.T.(1983) Pain and fatigue after concentric and eccentric muscle contractions. *Clinical Science*, 64: 55-62.
- Nosaka, K., Clarkson, P.M. (1995) Muscle damage following repeated bouts of high force eccentric exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27: 1263-1269.

分岐鎖アミノ酸摂取が筋損傷に与える影響

- 野坂和則(2005) 遅発性筋肉痛に対するアミノ酸サプリメントの効果 臨床スポーツ医学, 22: 829-835.
- 野坂和則(2020) 運動と遅発性筋痛 体力の科学, 70: 709-715.
- Sener, A. and Malaisse, W.J.(1981) The stimulus-secretion coupling of amino acid-induced insulin release: insulinotropic action of branched-chain amino acids at physiological concentrations of glucose and glutamine. *European Journal of Clinical Investigation*, 11: 455.
- Shimomura, Y., Yamamoto, Y., Bajotto, G., Sato, J., Murakami, T., Shimomura, N., Kobayashi, H., and Mawatari, K.(2006) Nutraceutical effects of branched-chain amino acids on skeletal muscle. *The journal of nutrition*, 136: 529-532.
- 下村吉治・Gustavo Bajotto (2007) 運動による筋損傷に対する分岐鎖アミノ酸の投与効果 石本記念デサントスポーツ科学, 28: 3-10
- Yoshizawa, F., Nagasawa, T., and Sugahara, K.(2005) Effect of orally administered branched-chain amino acids on protein synthesis and degradation in rat skeletal muscle. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 18: 133.

(2021年2月3日受付 / 2021年8月5日受理)