

分岐鎖アミノ酸 (BCAA) 摂取がレジスタンス運動後の 遅発性筋痛および筋疲労に及ぼす影響

呉 雪

キーワード：分岐鎖アミノ酸 (BCAA)、伸長性運動、遅発性筋痛、筋疲労

Effect of Branched-chain Amino Acids supplementation on the delayed onset
muscle soreness and muscle fatigue after resistance exercise

Wu Xue

Abstract

The purpose of this study was to examine that short term (5 days) of Branched-chain Amino Acids (BCAA) supplementation on the delayed onset muscle soreness and muscle fatigue after resistance training. College-age eight male subjects were completed to both BCAA and Placebo trial for 7 days with a month wash-out period in both trials. Subjects were take BCAA (BCAA ; 4.94g/one time、Valine ; 0.88g Leucine ; 3.20g Isoleucine ; 0.86g) or Placebo (Suger; the same as BCAA cal.) before and right after resistance exercise, and also over 5 days. All subjects were undergone to upper-arm eccentric exercise as resistance training (10 times repetition × 5 sets) at each trial. Before and right after exercise, and also 1, 2, 3, 5 and 7 days, we measured on serum creatine kinase (CK) and lactate dehydrogenase (LDH) activity, isometric strength, pressure pain, range of motion (ROM) and circumference of upper-arm and VAS with related to DOMS. We could not find any significantly difference parameters between BCAA and Placebo trial. But, pain pressure, perceived muscle soreness and strength as relate to DOMS and/or muscle fatigue of BCAA trial were tendency to better and recover than that of Placebo trial. From these results, it was suggested that shot term BCAA intake after intensity exercise with eccentric contraction would be effective to recover of DOMS and muscle fatigue.

Key words: Branched-chain Amino Acids(BCAA), eccentric exercise, delayed onset muscle soreness (DOMS), muscle fatigue

I はじめに

タンパク質はヒトの身体の構成材料となる栄養素で約16%~20%を占める。筋肉、臓器、皮膚、毛髪、爪といった実質部分はもちろんのこと、血液や代謝反応に不可欠な酵素、一部ホルモン、免疫の抗体や遺伝子(DNA)など、すべての細胞原型質はタンパク質を主材料として作られている。また、構造上、タンパク質はアミノ酸という小さな単位がいくつも結合したものである¹⁾。

アミノ酸は人間の体内でつくることができる11種類の「非必須アミノ酸」と、体内では合成できない9種類の「必須アミノ酸」(スレオニン、フェニルアラニン、ヒスチジン、バリン、トリプトファン、ロイシン、リジン、イソロイシン、メチオニン)とに分けられる。この必須アミノ酸の中でも、バリン、ロイシン、イソロイシンはその分子構造の特性から「分岐鎖アミノ酸」(Branched Chain Amino Acids)と総称され、その頭文字より「BCAA」と呼んでいる¹⁾。

分岐鎖アミノ酸(BCAA)は、運動時の骨格筋エネルギー源となることが報告されている²⁾。そして、運動時におけるBCAA摂取の効果は、中枢性の疲労の軽減³⁾、主観的な運動強度を軽減⁴⁾、さらには乳酸性作業閾値を高強度運動側にシフトさせることなどが報告されている⁵⁾。Dong-Hee Kimら⁶⁾は、BCAAが効率的に運動時の筋収縮エネルギー源として利用され、糖の利用が抑制されれば、乳酸の産生と中枢性疲労物質を抑制し、運動パフォーマンスの維持につながる可能性があるとして示している。また、タンパク代謝においては、BCAA摂取により骨格筋タンパク合成が亢進し、同時にタンパク分解を抑制することが報告されている^{8) 9)}。他にも、BCAA摂取は運動による骨格筋からのクレアチンキナーゼ(Creatine Kinase: CK)と乳酸脱水素酵素(Lactate Dehydrogenase: LDH)の逸脱を抑制し¹⁰⁾、結果とし

て筋損傷を軽減する可能性が示されている¹¹⁾。これらの報告は、特に筋損傷を伴うレジスタンストレーニングなどにおけるBCAA摂取の有効性を案に示唆していると考えられる。

一方、レジスタンストレーニングは、スポーツパフォーマンス向上のための有効なトレーニング法のひとつとして多くのスポーツ選手が練習に取り入れている。先にも示したようにBCAA摂取が筋損傷の軽減や筋損傷からの回復には効果的であるという報告がある中において、辻本ら¹²⁾は、レジスタンストレーニングに関して経験のない成人男性14名を対象に、週2日の頻度で5週間のレジスタンストレーニングを行わせ、BCAA含有飲料と同等カロリーのプラセボ飲料を摂取する2群に分けて比較したところ、BCAA摂取とプラセボ飲料摂取では、自覚的な疲労感や筋痛の程度、血中の筋損傷マーカーに有意な差は認められなかったことを報告している。

このように、レジスタンス運動により生じる遅発性筋痛および筋疲労に対するBCAA摂取効果については依然として不明瞭となっている点もある。しかしながら、BCAAの効果について詳細なメカニズムは現在のところ不明瞭な点もあるが、BCAA摂取はタンパク質分解の抑制やタンパク質合成の促進結果としてDOMSや筋疲労を軽減する手段として有効であるとしており、運動前後のBCAA摂取による効果については、筋損傷、DOMSおよび筋疲労などに一定の効果が示されているものの、さらなるBCAAの摂取、つまりは、継続的なBCAAの摂取が、その後の筋損傷、DOMSおよび筋疲労の程度や経過にどのような影響をもたらすのかなどについての検討は十分に行われていない状況にある。そこで、本研究において、この点について検討することは、BCAA摂取による筋損傷、

DOMS および筋疲労への効果についての基礎的資料となること、実践面での BCAA の効果的な利用方法を考える上では意義を持つものと考えられる。

Ⅲ 目的

本研究の目的は、5 日間の継続的な分岐鎖アミノ酸 (BCAA) 摂取がレジスタンス運動後の遅発性筋痛および筋疲労に及ぼす影響について検討することであった。

Ⅳ 研究方法

1. 被験者

被験者は健康な成人男性 8 名を対象とした。被験者の身体的特性を表 1 に示す。また、実験に先立ち、書面と口頭により、被験者にはあらかじめ本研究の目的および方法、実験に伴う苦痛および危険などについて十分な説明を行い、本人の自由意志に基づいて参加の意志を確認し同意を得た。

表 1. 被験者の身体特性

被験者	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)
N1	29	181	83
被験者 N2	23	176	70
N3	23	183	78
(n=8) N4	23	193	91
N5	21	176	57
N6	23	177	79
N7	23	175	75
N8	23	169	60
平均	23.5	178.8	75.8
標準偏差	2.2	6.6	11.6

2. 実験デザイン

被験者は、レジスタンス運動前後とその後 5 日間にわたって BCAA を摂取する試行 (BCAA 試行) と、プラセボ試行の両試行を約 1 ヶ月の休息期を挟んで盲検して行った。

3. レジスタンス運動

被験者はあらかじめ測定した最大上腕屈筋力の 50% 相当重量を用いて、立位姿勢で非利き腕の上腕屈筋群のレジスタンス運動を行った。ダンベルを肘屈曲位から肘伸展位まで約 5 秒間かけてゆっくり降ろすエクセントリック (伸長性収縮) 運動を 1 セット 10 回、セット間に 5 分程度の休憩をばさみ、5 セット実施した。

4. 分岐鎖アミノ酸 (BCAA) とプラセボ摂取

本研究で用いた BCAA は市販の顆粒状の BCAA を使用した。一回に摂取する BCAA 内容量は、先行研究で示されている効果があるとされる必要量 (バリン 1g/kg、ロイシン 2.3g/kg、イソロイシン 1.2g/kg) と市販されている BCAA の配合比に加えて、専門家の意見を参考にして、バリンが 0.88 g、ロイシンが 3.20 g、およびイソロイシンが 0.86 の計 4.94g (約 38kcal) の BCAA とした。また、プラセボについては市販の顆粒状の砂糖を使用し、BCAA と同カロリー量を摂取させた。摂取の際には 500ml のミネラルウォーターと一緒に摂取させた。なお、摂取時には BCAA とプラセボには味の違いがあるが、被験者には味や成分などについて盲検して実験を行っていることをあらかじめ説明すると同時に、摂取時には粉末を口に含めた後に速やかにミネラルウォーターで流し込むように摂取するよう指示した。

5. 測定項目

実験当日の運動前後、運動後 1、3、5 および 7 日目に、筋疲労および筋痛に関する生理指標としては最大筋力、関節可動域、圧痛、上腕部周径囲、および生化学的指標としては血清 CK および LDH 活性、そして VAS (0-100) による主観的な痛みへの影響について比較・検討した。

6. 統計処理

すべての測定値は平均値±標準偏差で表した。BCAA 試行とプラセボ試行との間における各生理・生化学的指標や主観的指標の比較には、繰り返しのある二次元配置分散分析を用いて行った。

V 結果

BCAA 試行とプラセボ試行間で生理・生化学的指標に統計的に有意な変化は認められなかった。しかし、BCAA 試行では主観的筋痛、圧痛および筋力などそれぞれの指標値はいずれもプラセボ試行にくらべて回復が促進される傾向があった。

プラセボ試行ではCK活性は運動終了3日後(539lu/L)にピークとなり、最大変化率は(運動前値を100%とした)323%と著しい上昇が見られた。しかし、BCAA 試行においては、プラセボ試行と同様に、運動終了3日後(694lu/L)にピークとなったが、最大変化率は(運動前値を100%とした)672%と著しい上昇が認められたものの、プラセボ試行と比較して差は認められなかった(表2)。

(2) 乳酸脱水素酵素活性 (LDH)

BCAA およびプラセボ試行におけるLDH活性の変化を図1-b)に示した、LDH活性は、BCAA 試行とプラセボ試行間に有意な差は認められなかった(表2)。

(1) 血清CK活性

血清CK活性の変化を図1-a)に示した。

(3) 上腕屈筋群の最大等尺性屈筋力

BCAA およびプラセボ試行における最

表2. 実験期間中のBCAA試行とプラセボ試行の生理、生化学的および主観的指標の経時変化

		運動直前	運動直後	1日	3日	5日	7日
血中CK活性 (%)	BCAA 試行	100±0	105±5	146±99	672±1206	467±828	197±189
	プラセボ試行	100±0	111±8	149±55	323±291	256±216	167±106
血中LDH活性 (%)	BCAA 試行	100±0	101±5	102±7	113±36	105±20	102±14
	プラセボ試行	100±0	103±7	101±8	107±10	98±12	102±11
筋力 (%)	BCAA 試行	100±0	80±6	91±3	97±5	103±13	109±14
	プラセボ試行	100±0	83±7	88±8	94±5	100±6	101±13
関節可動域 (%)	BCAA 試行	100±0	99±1	99±1	100±2	101±1	101±1
	プラセボ試行	100±0	99±1	98±1	99±1	100±2	100±1
圧痛 (%)	BCAA 試行	100±0	99±23	74±28	83±31	94±19	97±21
	プラセボ試行	100±0	105±15	72±18	80±31	93±20	110±20
上腕周径 (3cm) (%)	BCAA 試行	100±0	101±2	102±1	103±2	102±2	102±2
	プラセボ試行	100±0	103±2	103±1	103±2	103±3	103±2
上腕周径 (7cm) (%)	BCAA 試行	100±0	101±2	101±1	102±2	101±3	101±2
	プラセボ試行	100±0	103±2	103±2	104±3	104±3	104±2
主観的筋痛 (%)	BCAA 試行	100±0	104±9	125±15	106±13	103±4	100±1
	プラセボ試行	100±0	108±16	137±28	124±29	105±7	103±5

血清CK活性:血清クレアチンキナーゼ活性

*値は運動前値を100としての変化率(%)

血清LDH活性:乳酸脱水素酵素活性

値は平均値±標準偏差

最大等尺性筋力:上腕屈曲時の最大等尺性筋力 上腕周径 (3cm) および (7cm):肘関節より3cmと7cmの部位

関節可動域:上腕肘の伸展と屈曲の可動域 主観的筋痛:VAS (Visual Analog Scale) による主観的筋痛尺度

大等尺性屈筋力の変化は図 2-a) に示したように両試行に有意な差は認められなかったが、プラセボ試行の運動前値は 29.5 ± 5.5kg、BCAA 試行の前値が 27.3 ± 6.6kg であったのに対し、運動直後に両試行ともにプラセボ試行が 24.7 ± 5.8kg、BCAA 試行

が 22.3 ± 5.3kg とそれぞれ 83 ± 7%および 80 ± 6%へと大幅に低下した。しかしながら、BCAA 試行は運動終了 7 日後に至るまでプラセボ試行より筋力の回復が高く推移する傾向となった (表 2)。

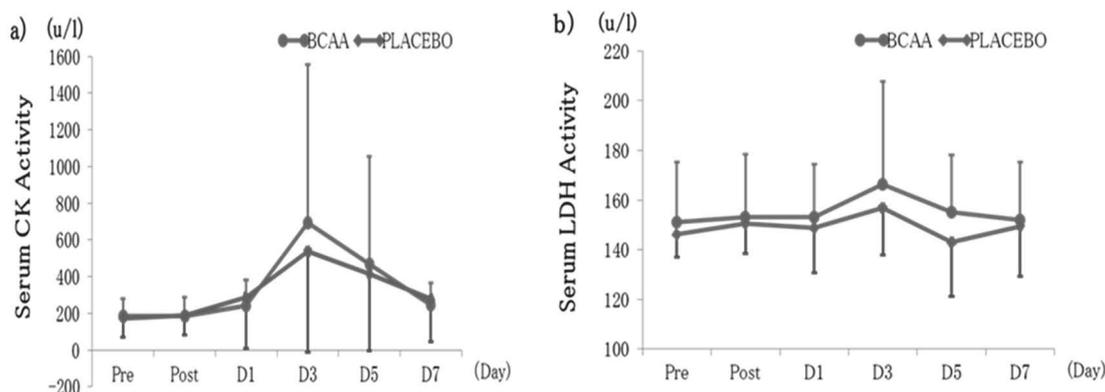


図 1. エクセントリック運動後の a) 血清CKおよび b) LDH活性の経時変化

(4) 上腕部の圧痛

図 2-b) に BCAA およびプラセボ試行における圧痛の変化を示した。圧痛は BCAA およびプラセボ試行の両試行ともに運動 1 日後から～3 日後にピーク (プラセボ試行: 5.1 ± 1.4nm、BCAA 試行: 6.2 ± 2.8nm) となり、その後、痛みは徐々に消失し、BCAA 試行およびプラセボ試行ともに 7 日後までにはほとんど圧痛が前値レベルへと戻った。両試行において、圧痛の有意な差は認められなかったが、BCAA 試行では、プラセボ試行に比べて運動 1 日後および 3 日後の痛みが弱い傾向が見られた (表 2)。

(5) 関節可動域 (ROM) ; 肘関節屈曲—伸展可動域

図 2-c) に BCAA およびプラセボ試行における ROM の変化を示した。プラセボ試行の ROM は運動前値 (133.8 ± 4.4 度) と比べ運動 1 日後に (経時変化 131.0 ± 4.3 度、変化率 98 ± 1%) と最大に低下した。また

BCAA 試行においても運動前値に (135.1 ± 4.2 度) 比べて運動 1 日後に (経時変化 133.6 ± 4.1 度、変化率 99 ± 1%) となり最大に低下し、その低下の傾向は同様であった (表 2)。

(6) 上腕部周径囲

図 2-d), e) に BCAA およびプラセボ試行における上腕部周径囲 (3cm) の変化を示した。プラセボ試行では上腕部周径囲 (3cm) は運動前値が 27.3 ± 1.6cm であり、それから徐々に増加し、1 日後に (28.2 ± 1.7cm) ピークとなり、運動前値に比べ 0.9cm ほど腫脹した (103 ± 1%) 一方、BCAA 試行では運動前値は 26.9 ± 2.1cm であり、3 日後に (27.7 ± 2.0cm) 最大となり、運動前値に比べ 0.8cm ほど腫脹し (103 ± 2%)、両試行間で有意な差は認められなかったが、その後、両試行はどちらも実験終了までも運動前値より高値に推移した。

上腕部周囲径 (7cm) についても、上腕部

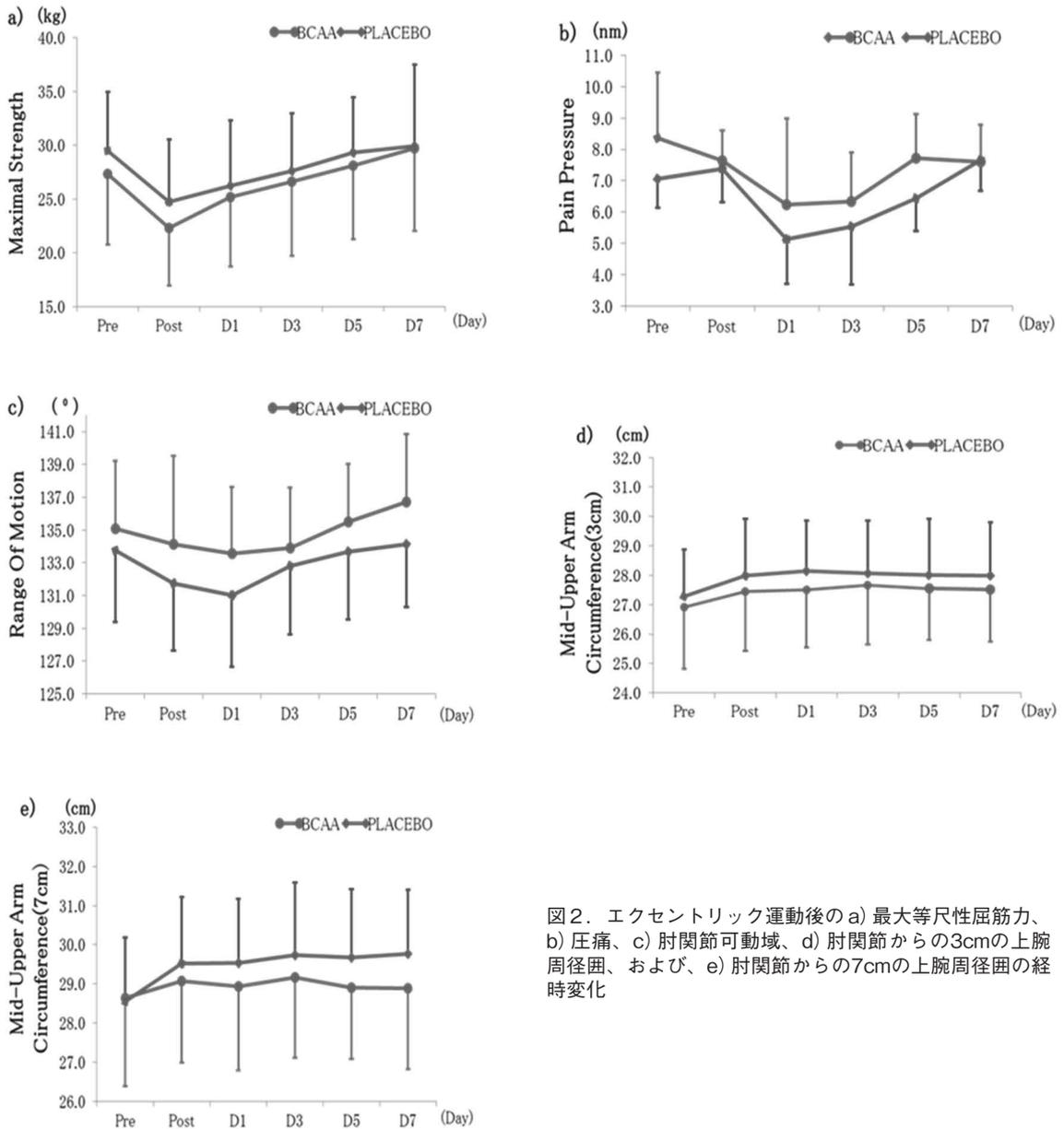


図2. エクセントリック運動後の a) 最大等尺性屈筋力、b) 圧痛、c) 肘関節可動域、d) 肘関節からの3cmの上腕周径圏、および、e) 肘関節からの7cmの上腕周径圏の経時変化

周径圏 3cm と同様の傾向を示した (図2)。プラセボ試行では運動終了後から3日後に 29.8 ± 1.8cm (104 ± 3%) ピークとなった (運動前値: 28.6 ± 1.6cm)。また BCAA 試行においても運動前値に 28.6 ± 2.3cm 比べ、運動終了後から3日後に 29.2 ± 2.0cm (102 ± 2%) ピークとなった。しかしながら、プラセボ試行は、BCAA 試行に比べて高値に推移する傾向となった (表2)。

(7) VAS (0-100mm) による主観的な遅発性

筋痛評価

BCAA およびプラセボ試行におけるVASによる主観的な遅発性筋痛の経時変化を表2に示した。両試行ともに各時点および両群間での有意な差はみられなかった。しかしながら、プラセボ試行では運動1日後に 37 ± 28mm (137 ± 28%) まで上昇したのに対して、BCAA 試行では運動1日後に 21 ± 15mm (125 ± 15%) と低くなる傾向となった。また、BCAA 試行では、主観的な遅発性筋痛の程度が運動後に低く推移

し、その消失も早くなる傾向が見られた。

VI 考察

本研究では、5日間の継続的なBCAA摂取がレジスタンス運動後の筋疲労および遅発性筋痛(DOMS)へ及ぼす影響について検討した。その結果、血清CK活性およびLDH活性に両試行間で統計的に有意な差は認められなかったが、DOMSの発生・回復過程において、BCAAの摂取は、特に、DOMSに関連する圧痛、主観的な筋痛および筋力の低下が抑えられる傾向にあった。

圧痛、主観的な筋痛および筋力の低下が抑えられる傾向があったと考える要因として以下のことが推察できる。まず、先行研究において高負荷の運動による血中の筋損傷マーカー(血清CK活性)の上昇に対して、運動前にBCAAもしくはそれを主成分とするアミノ酸サプリメントを投与するとその上昇をある程度抑制する効果が期待されることが挙げられている²³⁾。すなわち、BCAAの運動前摂取は運動による筋損傷をある程度抑制できる可能性があると考えられる。

本研究においては、BCAA試行とプラセボ試行に血清CK活性およびLDH活性値に有意な差は認められないものの、両試行ともレジスタンス運動後3日目の血清CK活性がピークとなっているが、ピーク値に対して運動後3日目以降の変化については、BCAA試行の方がピーク値からの低下の割合が大きくなる傾向が見られ、このことは、筋損傷の修復過程においてBCAA摂取の効果があつたのではないかと推察でき、圧痛、主観的な筋痛および筋力低下の抑制や回復に影響を与えていると考える。

次に、今回の実験においては、先行研究²⁴⁾でも用いられているDOMS発生のレジスタンス運動として上腕屈筋群のエクセントリック運動を実施したが、エクセントリッ

ク運動時の活動筋の量や負荷の大きさによりDOMSの発生や回復過程における血中CK活性およびLDH活性に影響したと考える。つまりは、本研究で用いた上腕屈筋群のエクセントリック運動と先行研究²⁵⁾にもあるようなスクワット運動での動作では、上腕屈筋群のエクセントリック運動に比べてスクワット運動において多くの筋が動員され、また、両トレーニング動作に関わる関節の数も、スクワットが上腕屈筋群のエクセントリック運動に比べ多く、より複雑な動作であるといえる。

また、骨格筋におけるタンパク量は食事の影響も受けることが指摘されている²⁶⁾。つまり、食事による摂取タンパク量により、結果としてアミノ酸の量にも影響を与える可能性があることから、実験期間中の食事摂取内容が影響していた可能性もあるように思われる。本研究では実験期間中の食事コントロールは行わず、研究方法にも示したように口頭により実験期間中の食事について指示したのみであった。実験期間中の食事内容についての記録は取っていないが、両試行中の食事内容については大きく違わないよう指示したものの、食事から摂取したタンパク質量が影響した可能性は否定できないため研究の限界点としてあげると同時に今後の課題としたい。

そして、タンパク質代謝に大きく影響すると考えられるBCAAの摂取量であるが、今回は遅発性筋痛や筋損傷を抑制するとされる必要量と市販されているBCAAの配合比に加えて、専門家の意見を参考に摂取量と決めた。一方で、アミノ酸の大量摂取は今のところ問題になっていないが、近年、単体(あるいは少数)のアミノ酸で大量に摂取することが可能になったことから、潜在的なリスクについて検討する必要もあると考える。ヒトでの安全性の議論については、年齢や性別、生理的状态、動物試験から数多く

の論点がなされている。幸い現時点ではこの種の問題は報告されていないが、今後アミノ酸の利用が拡大するにつれて、そのリスクを回避するためにも、現時点から様々な方面から検討を進めて安全な利用についても明らかにしていくべきものとする。今後はBCAA 摂取量等についてもさらなる検討が必要であるとする。

また、BCAA の効果については、今回の筋損傷や DOMS の抑制や回復効果以外にも、美容の促進、疲労困憊時の集中力維持なども挙げられており¹³⁾、これらの効果はスポーツ選手だけに適応されるばかりでなく、一般人が健康の維持・増進のために運動する場合にも応用できると考えられる。

現在、BCAA の利用率は高く、比較的容易に購入できる環境にあるが、運動の種類や運動強度によって摂取量、摂取方や摂取タイミングなどを示すようなガイドライン策定やBCAA 等のアミノ酸の過剰摂取で起こり得る副作用などについてもさらに検討されなければならないとする。

VII まとめ

本研究はBCAA 摂取がレジスタンス運動後の筋疲労および遅発性筋痛への影響について検討した。結果として、5日間の継続的なBCAA 摂取は筋へのダメージを抑制し、DOMS や疲労感を抑制できるなど、運動による筋障害の予防や回復促進に対して有効に作用する可能性が示唆された。

VIII 参考文献

- 1) 上田伸男,岸恭一,塚原丘美. (2013) 運動と栄養・健康づくりのための実践指導. 講談社, 東京, pp38-41.
- 2) 下村吉治. (2002) スポーツと健康栄養学.NAP, 東京, pp3-27.
- 3) Blomstrand,E.(2001) Amino acids and central fatigue. *Amino Acids*. 20 : 25-34.
- 4) Blomstrand,E.(1997) Influence of ingesting a solution of branched-chain amino acids on perceived exertion during exercise. *Acta.Physiol.Scand*.159 : 41-49.
- 5) 辻本尚十郎. (2004) 乳酸性作業閾値に及ぼす分岐鎖アミノ酸含有飲料摂取の影響.体力科学 第53巻, pp750.
- 6) Dong-Hee Kim, Seok-Hwan Kim, Woo-Seok Jeong and Ha-Yan Lee. (2013) Effect of BCAA intake during endurance exercises on fatigue substances, muscle damage substances, and energy metabolism substances. *J. Exerc. Nutr. Biochem*. 17: 169-180.
- 7) 濱田広一郎. (2009) BCAA 含有飲料摂取が合宿期間中の筋痛および疲労感に及ぼす効果.*J.Sports Phys. Fitness*.49:424.
- 8) Yoshizawa,F.(2004) Regulation of protein synthesis by branched-chain amino acids in vivo. *Biochem. Biophys. Res. Commun* 313 : 417 - 422.
- 9) Kimball, S. R. Jefferson, L. S.(2006) Signaling pathways and molecular mechanisms through which branched-chain amino acids mediate translational control of protein synthesis.*J.Nutr*.136(Suppl1) : 227S-231S.
- 10) Coombes J.S.,McNaughton L.R.(2000) Effects of branched-chain amino acid supplementation on serum creatine kinase and lactate dehydrogenase after prolonged exercise. *J.Sports Med. Phys. Fitness*. 40:240-246.
- 11) 野坂和則. (2005) 遅発性筋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 第22巻, pp829-835.
- 12) 辻本尚弥, 濱田広一郎,木場孝繁,松元圭太郎,満園良一. (2008) レジスタンストレーニング量及びトレーニング時の疲労感、筋痛に及ぼす分岐鎖アミノ酸含有飲

- 料摂取の影響.日本臨床スポーツ医学会誌 第16巻,pp59-66.
- 13) 岸 恭一, 西村敏英. (2007) タンパク質・アミノ酸の科学.塚原丘美.工業調査会, 東京,pp229-233.
- 14) Bucci,L., Hickson,J.F., Pivarnik,J.M., Wolinsky,I., McMahon,J.C. and Tuener, S.D.(1990) Ornithine ingestion and growth hormone release in body builder, *Nutrition Res.*10:239-245.
- 15) Kumazawa T and Kurihara K. (2000) Large synergism between monosodium glutamate and 5-nucleotides in canine taste nerve responses. *Am. J. Physiol.* 259:R420-R426.
- 16) Jefferson,L.S.and Kimball,S.R. (2001) Amino Acid Regulation of Gene Expression. *Biochem. J.* 131:2460s-2466s.
- 17) 朽久保修, 安東敏彦. (2010) アミノ酸と生活習慣病-最新アミノグラムで探る「いのち」の科学. 女子栄養大学出版部, 東京, pp8-9.
- 18) 芳賀脩光,大野秀樹. (2003) トレーニング生理学.杏林書院, 東京,pp243.
- 19) 濱田広一郎、木場孝繁、桜井政夫、松元圭太郎、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第27巻 pp.1-10.
- 20) Tipton,K.D.(2001) Timing of amino acid carbohydrate ingestion alters anabolic response of muscle to resistance exercise. *Am.J.Physiol.*281:E197-E206.
- 21) Maclean DA,Graham TE,Saltin B. (1994) Branch-chain amino acids augment ammonia metabolism while attenuating protein breakdown during exercise. *Am J.Physiol.*267:E1010-E1022.
- 22) Shimomura,Y.,Yamamoto,Y.,Bajotto,G., Sato,J.,Murakami,T.,Shimomura,N.,Kobayashi,H.,and Mawatari,K.(2006) Nutritional effects of branched-chain amino acids on skeletal muscle.*J.Nutr.*136:529S-532S.
- 23) 佐藤寿一,山本裕子,濱田広一郎. (2005) 筋肉痛および筋疲労感に対する分岐鎖アミノ酸飲料の効果. 臨床スポーツ医学 第22巻,pp837-839.
- 24) 李松, 佐藤佑. (2009) 高圧・高酸素環境下での滞在が遅発性筋肉痛(DOMS)の回復に及ぼす影響. 仙台大学大学院スポーツ科学研究科修士論文.
- 25) 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.デサントスポーツ科学 第28巻, pp3-9.