

# 持久運動中の血中アンモニア濃度に及ぼす 分岐鎖アミノ酸 (BCAA) 摂取の影響

秋山未来<sup>1)</sup>・河野俊貞<sup>2)</sup>・塩田正俊<sup>3)</sup>

Effect of branched-chain amino acids supplementation on blood ammonia concentration during prolonged exercise.

Miki AKIYAMA, Toshisada KAWANO, Masatoshi SHIOTA

(Received September 25, 2009)

## Abstract

**PURPOSE :** This study examined the effect of branched-chain amino acids (BCAA) supplementation on blood ammonia concentration during prolonged exercise and investigated whether differences in blood ammonia concentration between two trials would influence fatigue during exercise.

**METHODS :** Six well-trained men cycled for 90 min at 60%  $\dot{V}O_2$ max in two laboratory trials. The trials were carried out with supplements of either BCAA or placebo, at rest and during exercise.

**RESULT :** Blood glucose and lactate concentrations did not differ at rest or during exercise between the trials. Although blood ammonia concentration was higher in BCAA trial compared with placebo trial, ratings of perceived exertion (RPE) and color word test did not differ at any point between the trials.

**CONCLUSION :** The present study suggests that BCAA supplementation increased blood ammonia concentration compared with placebo during exercise. However, there was not a clear relation between changes in blood ammonia concentration and fatigue.

**KEY WORDS:** branched-chain amino acids (BCAA), blood ammonia, fatigue

## I. 緒言

我々の体には約150 g/kg体重のタンパク質が含まれる。各組織に含まれるタンパク質には固有の半減期があり、役割を果たしたタンパク質は自己食飽により細胞内消化を受けアミノ酸となり、その一部はリサイクルされるが、脱アミの反応を受けたアミノ酸は分解される。そのため体タンパク質の素材となるアミノ酸、とりわけ必須アミノ酸はタンパク質として毎日食物から供給する必要がある(石黒、2006)。最近、個々のアミノ酸の機能(働き)が注目され、我々の身の回りにも多くのアミノ酸飲料が見られるようになってきた。運動時のアミノ酸飲料摂取

1) 香川県特別支援学校、2) 河野内科小児科医院、3) 山口大学教育学部スポーツ健康科学

についても、筋力の向上、持久力の向上および疲労感の早期回復などの効果が期待され、実際、運動前あるいは運動直後に分岐鎖アミノ酸（BCAA：バリン・ロイシン・イソロイシン）を摂取すると、運動中に筋肉で促進されるBCAAの分解、筋タンパク質の分解が抑制されたという報告（MacLeanら、1994）がある。また、BCAAの摂取は、運動時の疲労感を軽減する作用を持つことが示唆されている（Blomstrandら、1997）。さらに、室温34°Cでの暑熱環境におけるBCAAの摂取は、運動持久力を高めるという報告（Mittlemanら、1998）もあり、BCAAの摂取は運動に有益な効果をもたらすようである。その一方で、これらの研究の中にBCAAの摂取により運動時の血漿アンモニア濃度が増加したという報告が見られ（MacLeanら、1994）、アミノ酸摂取は、運動中のアンモニア生成を増加させると考えられる。一般にアミノ酸は、運動時には、プリン・ヌクレオチド回路の脱アミノ作用（AMP→IMP）もしくはアミノ酸の脱アミノ化によってアンモニアが生成される（Van Hallら、1995）。MacLeanとGraham（1993）、Madsenら（1996）は、BCAAの摂取が長時間の運動に及ぼす効果を検討し、BCAA摂取により運動中の血漿アンモニア濃度が有意に増加したと報告している。

アンモニアは生体にとってはきわめて有毒であり（水上ら、1992）、運動時の疲労と関係していると報告されている（DavisとBailey、1997；Guezennecら、1998）。しかし、運動時の疲労物質としてのアンモニアには未だ不明な点が多い。運動で増加したアンモニアは、脳内でのアンモニアの吸収と蓄積を増加させ、中枢神経系に有毒な影響を与えたり、中枢性疲労を促進したりと脳に直接的に働きかける可能性が示唆されている（萩野ら、1999；Nyboら2005）。また、脳でのアンモニア吸収と動脈血アンモニアレベルの間に相関関係が見られ（Nyboら、2005）、血中アンモニア濃度の上昇により疲労感が増大する可能性が考えられている。

上述のように、運動中のBCAA摂取によってアンモニア生成が増加した場合、中枢性疲労が生じ、運動パフォーマンスにも影響することが考えられる。しかし、運動時には一般に末梢の疲労物質とされている乳酸濃度が上昇し、多くの運動ではその上昇に伴う水素イオン（H<sup>+</sup>）濃度上昇によるpHの低下が疲労の原因とされる。

そこで本研究では、乳酸（H<sup>+</sup>）の産生は抑えられるが、アンモニア濃度は上昇する比較的低い負荷強度で持久的運動を用い、BCAAサプリメント摂取が長時間の運動中の血中アンモニア濃度に及ぼす影響について、また、アンモニア濃度の違いが運動中および回復期の疲労にどのような影響を及ぼしているのかについて、それぞれ検討することを目的とした。

## II. 実験方法

### 1. 被験者

被験者には、健康な男子大学生6名を用いた。被験者の年齢および身体的特徴（平均値±標準偏差）は、年齢21.5±0.5歳、身長175.7±4.6 cmおよび体重62.6±6.0 kgであった。なお、本実験を行うにあたり、ヘルシンキ宣言（1964年、2000年改定）にある倫理的原則に準拠し、本研究の目的、方法および運動負荷に伴う危険性の説明を行い、同意の上で実験に参加させた。

### 2. アミノ酸摂取量の設定方法

BCAAの摂取が長時間の運動に及ぼす効果を調べた先行研究（MacLeanら、1993；MacLeanら、1994）において、BCAAの摂取量は体重1 kgあたり77 mgまたは飲料1 ℓあたり7 gであった。また、BCAA摂取によるプラスの効果を期待するには一回に5 g程度の摂取量が必要であるとされている（下村、2003）。そこで本研究では、1 ℓあたり8 gのBCAAを含む市販の飲料（BCAA摂取条件）とアミノ酸は含まないが、摂取カロリー量（36 kcal/ℓ相

当のグルコース7.2 g/l)を同等にした飲料(プラセボ摂取条件)の2条件に分けた。長時間の運動を行った Watson (2004)らの先行研究を参考にし、運動30分前に500 ml(アミノ酸4 gを含む)、運動30分および60分に運動を継続したままの状態250 ml(アミノ酸4 gを含む)ずつ摂取させた。

### 3. 運動強度および運動時間

アミノ酸摂取の影響を検討した先行研究(Blomstrandら、1995; MacLean and Graham、1993; MacLeanら、1994)において用いられている運動強度は60~75%  $\dot{V}O_2\max$ 、運動時間は60分以上であった。そこで本研究では、60%  $\dot{V}O_2\max$ に相当する運動強度の自転車運動を60 rpmの回転速度で90分間行った。

### 4. $\dot{V}O_2\max$ の測定

60%  $\dot{V}O_2\max$ に相当する運動負荷を求めるため  $\dot{V}O_2\max$ の測定を行った。被験者は十分なウォーミングアップを行ったあと、自転車エルゴメータを用い漸増負荷運動を行った。負荷は1.0 kpから開始し、2分ごとに0.5 kp上げ、オールアウトまで続けた。各負荷の1~2分目に呼気ガスを採取し、心拍数は連続的に測定した。呼気ガスは呼気ガス採取専用のマスクを装着し、ダグラスバックにより採取を行った。採取した呼気ガスは酸素濃度と二酸化炭素濃度を分析した後、換気量の測定を行った。なお、酸素濃度と二酸化炭素濃度の測定には呼気ガスモニター(Respina 1 H26、日本電気三栄)を用いた。また、換気量の測定は乾式ガスメータ(品川精器)を用いた。 $\dot{V}O_2\max$ の決定は、 $\dot{V}O_2$ のレベリングオフ、呼吸交換率(R) > 1.05および最大心拍数を参考にした(池上、1995)。

### 5. 実験プロトコール

被験者には早朝空腹状態で来室させ、椅座位安静を60分間保たせた。安静30分と60分においてカラーワードテストおよび血液成分の順で測定を行った。また安静30分の測定終了後にBCAAおよびプラセボのいずれかを含んだ飲料を500 ml摂取させた。60分間の安静終了後、90分間の自転車(Cateye ergometer)運動を行った。運動中は、15、30、60および90分に血液成分を測定し、15分ごとRPEの測定を行った。運動30分および60分の測定終了後に安静時と同じ飲料を250 mlずつ摂取させ、運動直後にカラーワードテストの測定を行った。運動終了後は、再び椅座位安静を60分間保たせ、運動後30分および60分にカラーワードテストおよび血液成分の順で測定を行った。なお、実験室の室温は25±1℃になるようにした。

### 6. 測定項目および測定方法

#### (1) 心拍数

心拍数の測定は、HRモニター(バンテージXL, Canon)を使用し、安静開始から運動後60分まで連続的に測定した。

#### (2) 血液成分

血液成分として、血中乳酸濃度、血中アンモニア濃度および血糖値を測定した。血液成分は指先から採血をし、血中乳酸濃度は簡易血中乳酸測定器(Lactate Pro, アークレイ)と血中乳酸測定用電極(アークレイ)を用いて、血中アンモニア濃度は血中アンモニア測定装置(PocketChem BA, アークレイ)と血中アンモニア測定用試験片(アークレイ)を用いて、血糖値は簡易血糖値測定器(エキストラ, ダイナポット)とエキストラ専用G3血糖値測定電極(ダイナポット)を用いて、それぞれ測定した。

#### (3) 主観的運動強度(RPE)

RPEは、Borgらが考案したものを小野寺、宮下が日本語で表示した6から20までの15段階

からなる表を用い測定した（小野寺と宮下、1976）。

(4) カラーワードテスト (CWT)

CWT (Stroop, 1935) は、言葉の意味とは異なる色のついた色名单語の色を命名する際に、単に色を命名するよりも反応が遅くなる現象（ストロープ効果）をみることが出来るテストであり、テストの結果は認知能力の指標として用いられる。本研究では、4種類の色と文字の異なる単語を100語配列し、できるだけ速く正確に読むよう指示した。検者の「始め」の合図とともに、単語の色を声に出して回答させ、カセットテープに録音した。回答所要時間および誤答数を測定した。

7. 統計処理

各測定項目の値は、平均値±標準偏差 (Mean ± SD) で示した。測定項目の有意差検定には、二元配置 (BCAA 摂取条件×時間条件) の反復測定による分散分析法 (a repeated measures ANOVA) を用いた。交互作用が認められた場合には、各要因間について Bonferroni/Dunn 法を用い多重比較検定を行った。また、条件間に有意差が認められた場合は、条件 (BCAA 摂取条件、プラセボ摂取条件) 毎に全時間要因の平均値を求め、その平均値を Bonferroni/Dunn 法を用い検定を行った。また、経時変化に有意差が認められた場合は、contrasts 法を用いて各測定時間における両条件の平均値を求め、運動前の両条件の平均値と有意差があるかどうかについて検討を行った。有意水準は、いずれも危険率5%未満とした。

Ⅲ. 結果

1. 心拍数 (HR) の変化

各群の運動前と運動中の HR 変化を図1に示した。

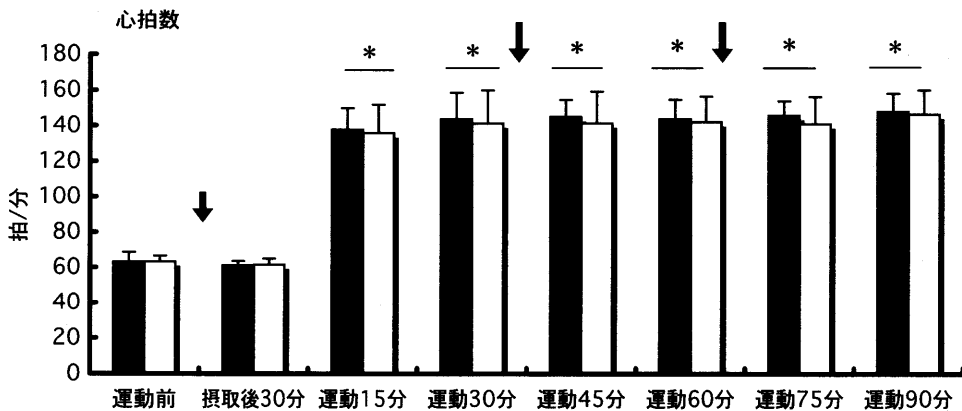


図1 BCAA 摂取が運動時の心拍数に及ぼす影響  
 ■ BCAA □ placebo ↓ : BCAA 摂取  
 \* p < 0.05 : vs. 運動前

分散分析の結果、運動中の HR には摂取条件による違いは認められなかった。一方、経時変化 (時間条件) には有意差 (p < 0.001) が認められ、運動中の HR は、運動前に比べ有意に上昇した (p < 0.05)。

## 2. 血中アンモニア濃度、血中乳酸濃度および血糖値の変化

各群の血中アンモニア濃度、血中乳酸濃度および血糖値の変化を図2に示した。

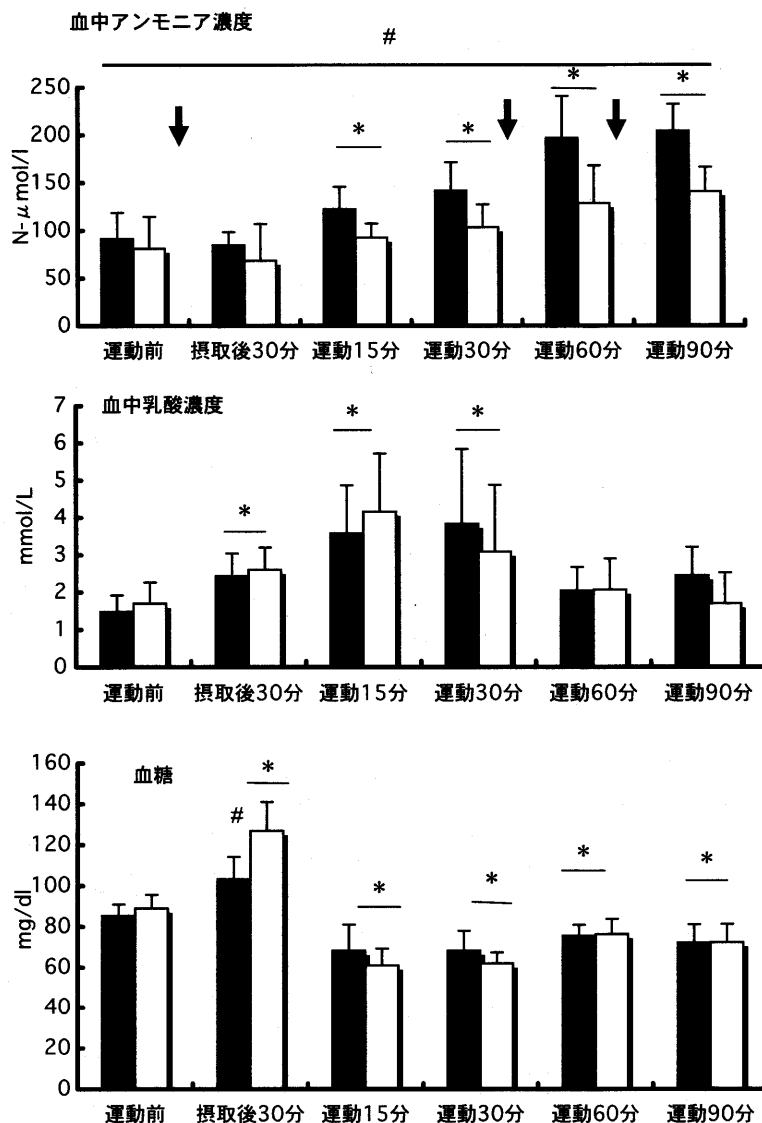


図2 運動時の血中アンモニア濃度、血中乳酸濃度および血糖値に及ぼすBCAA 摂取の影響

■ BCAA □ placebo ↓ : BCAA 摂取、血中アンモニア濃度 : n = 5  
\* p < 0.05 : vs. 運動前, # p < 0.05 : BCAA. vs. プラセボ

血中乳酸濃度には経時的変化 (時間条件) に有意差が認められ (p < 0.05)、飲料摂取後30分に上昇 (p < 0.05) し、運動中は、15分および30分で有意な上昇 (p < 0.05) が見られ、その後ほぼ運動前値水準に戻った。しかし、BCAA およびプラセボ摂取条件間には有意差は認めなかった。一方、血糖値および血中アンモニア濃度には交互作用が認められ (p < 0.05)、

飲料摂取後30分における両群の血糖値 (BCAA 摂取条件;  $103.2 \pm 11.0$  mg/dl、プラセボ摂取条件;  $126.8 \pm 14.1$  mg/dl) に有意差が認められた ( $p < 0.05$ )。しかし、アンモニア濃度には各要因間に有意差は認めなかった。また、アンモニア濃度には摂取条件に有意差が認められ ( $p < 0.05$ )、BCAA 摂取条件がプラセボ摂取条件に比べ高い値を示した。

### 3. 運動前値からの血中アンモニア濃度、血中乳酸濃度および血糖値の変化率 (%)

図3に、運動前値からの血中アンモニア濃度、血中乳酸濃度および血糖値の変化率 (%) について示した。

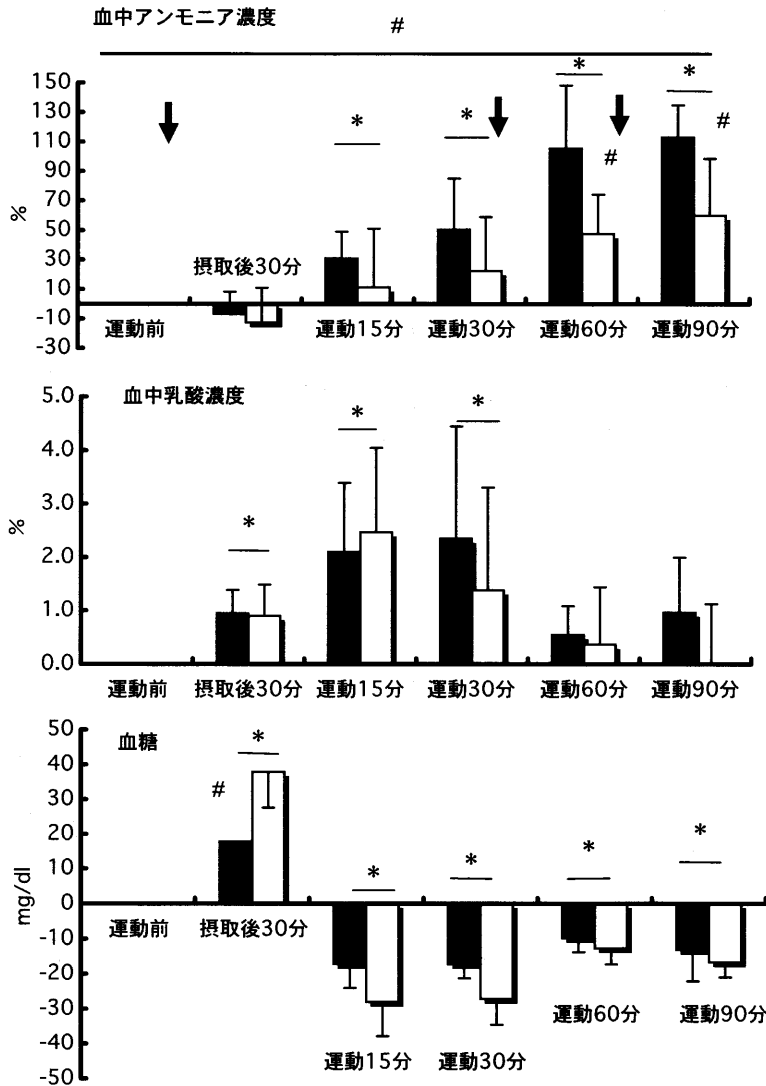


図3 運動前値からの血中アンモニア濃度、血中乳酸濃度および血糖値の変化率 (%) 及ぼす BCAA 摂取の影響

■ BCAA □ placebo ↓ : BCAA 摂取

\*  $p < 0.05$  : vs. 運動前, #  $p < 0.05$  : BCAA. vs. プラセボ

血中乳酸濃度および血糖値の運動前値からの変化率は、図2に示した結果とほぼ同様の変化を示した。しかし、アンモニア濃度の変化率には交互作用 ( $p < 0.05$ ) が認められ、運動60分及び90分におけるBCAA摂取条件の値はプラセボ摂取条件の値(運動60分、BCAA摂取条件 vs. プラセボ摂取条件;  $105.6 \pm 42.7\%$  vs.  $47.6 \pm 26.6\%$ 、運動90分、BCAA摂取条件 vs. プラセボ摂取条件;  $113.0 \pm 21.9\%$  vs.  $60.0 \pm 38.5\%$ ) に比べ有意に高値を示した。

#### 4. RPE および CWT

BCAA摂取条件およびプラセボ摂取条件間のRPEおよびCWTの所要時間と誤答数の変化を図4に示した。

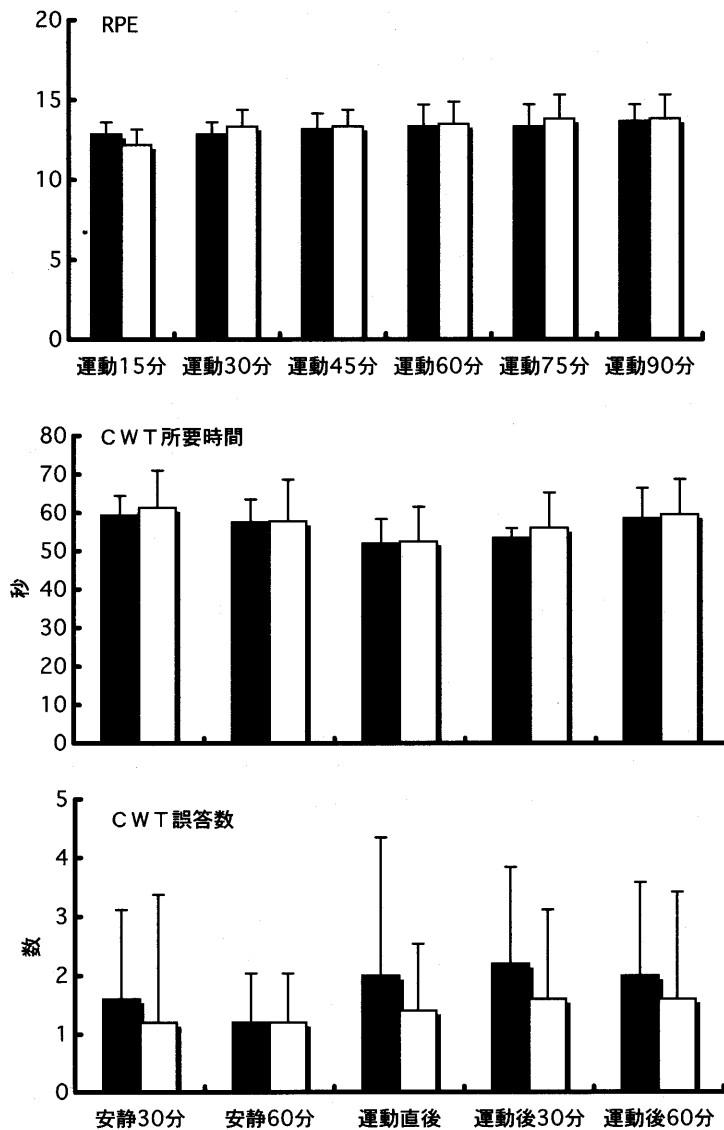


図4 RPE および CWT の所要時間と誤答数の変化  
 ■ BCAA □ プラセボ

RPE および CWT 所要時間と誤答数は、BCAA 摂取条件およびプラセボ摂取条件による違いは見られず、また経時的変化（時間条件）にも有意な差は認められなかった。

## IV. 考 察

### 1. BCAA 摂取が運動中の血中アンモニア濃度に及ぼす影響

本研究の第一の目的は、BCAA サプリメント摂取が長時間の運動中の血中アンモニア濃度に及ぼす影響について調べることであった。本研究では、両摂取条件の乳酸濃度に差はなく、一方、BCAA 摂取条件における血中アンモニア濃度はプラセボ摂取条件に比べ有意に高くなった。

本研究の結果は、MacLean と Graham (1993)、MacLean ら (1994) や Madsen ら (1996) の報告とほぼ同様の結果であり、BCAA 摂取により血中アンモニア濃度は上昇したものと考えられる。運動および BCAA 摂取によるアンモニア濃度上昇の原因について考えたい。

まず、運動時のアンモニアは2つの経路によって生成される。1つはアデニンヌクレオチド脱アミノ作用によって生じる経路であり、短時間の最大運動時に生成されるアンモニアは、主にこの経路によって生じる (Van Hall ら、1995)。もう1つは、アミノ酸の脱アミノ作用によって生じる経路であり、長時間の最大下運動時におけるアンモニア生成の主な原因となっている (Snow ら、2000; Van Hall ら、1995)。本研究で用いた運動は長時間の最大下運動であるため、本研究におけるアンモニア生成は、主に後者のアミノ酸の脱アミノ作用によって引き起こされたと考えられる。また、アミノ酸はタンパク質を構成する成分であるため、筋肉が発達するために必須とされる栄養素である。特に、BCAA は筋タンパク質中の含有量が高く、運動によりエネルギー消費が亢進した場合には酸化分解が促進され、運動のエネルギーとして直接利用される。長時間の運動によりタンパク質・糖が不足する状態では BCAA の分解がさらに促進され、このような運動時には特に BCAA の十分な摂取が必要であると示唆されている (下村、1999; 2003)。これらのことから、運動時の BCAA 摂取は、運動のエネルギーとして、また、運動中の筋タンパク質の分解を抑制するなどの効果が期待されるが、一方で、運動中の多量の BCAA 摂取では、摂取された BCAA の脱アミノ作用が促進され、本研究の結果、MacLean と Graham (1993)、MacLean ら (1994) や Madsen ら (1996) の報告に見られるように、BCAA 摂取により運動時のアンモニア濃度上昇が認められたと考えられる。

このような過程により体内で生じたアンモニアは生体にとって極めて有毒であるため、3つの経路によってすばやく除去される (日本生化学会、1997)。第1は、尿素サイクルにおいて除去される経路であり、まずアンモニアはカルバモイルリン酸シンターゼによりカルバモイルリン酸に転換される。この反応は不可逆的であるため、カルバモイルリン酸に固定されたアンモニアは尿素サイクルへ入り、アルギニンを経て、最終的に尿素として体外に排出される。第2の経路では、アンモニアがグルタミン酸デヒドロゲナーゼの働きにより、 $\alpha$ -ケトグルタル酸と結合し、グルタミン酸へ変換される。そして第3の経路では、グルタミン合成酵素により、アンモニアがグルタミン酸と結合し、グルタミンへ変換される。本研究の結果には示していないが、同時に行った尿中窒素排泄量の測定では、BCAA 摂取およびプラセボ摂取条件間に差は見られなかった。したがって、少なくとも、第1の経路によるアンモニア処理に差はなかったと考えられる。Mourtzakis と Graham (2002) は、運動時にグルタミン酸を摂取させると、血漿アンモニア濃度の上昇が抑えられることを示唆している。このことは、第2および第3の経路でのアンモニア処理が亢進する可能性を窺わせる。しかし、グルタミン酸は骨格筋に吸収



されるアミノ酸のひとつであり、運動時には、循環血液中から一定のグルタミン酸が取り込まれる。しかし、それにも関わらず、筋肉内のグルタミン酸濃度は減少し、運動中は低いまま維持されると報告されている (Mourtzakis と Graham, 2002)。したがって、第2の経路によるアンモニア処理作用についても、運動中ではある程度、限られた量での除去作用が行われるものと考えられる。第3経路におけるグルタミンは、毒性は弱く、また、細胞膜を容易に通過できることから、アンモニアの解毒型アミノ酸、あるいは輸送型アミノ酸と考えられているが、大部分がグルタミナーゼの作用で、グルタミン酸とアンモニアとに再び分解されることから、緊急的なアンモニア処理作用と考えられる (日本生化学会, 1997)。これらのアンモニア処理経路が十分に働いていたと考えると、BCAA 摂取による血中アンモニア濃度の上昇は、アンモニア処理経路による除去作用以上に、BCAA 摂取によるアンモニア産生が亢進したために生じたと考えられる。

このように、運動前および運動中の BCAA 摂取によってアンモニア生成が増加し、血中アンモニア濃度が上昇することが示唆された。このことは、上昇したアンモニア濃度により中枢性疲労 (疲労感) が生じ、運動パフォーマンス等にも影響することが考えられる。次に、血中アンモニア濃度と疲労との関係について考えたい。

## 2. 血中アンモニア濃度と疲労の関係

本研究の第二の目的は、血中アンモニア濃度の違いが運動中および回復期の疲労にどのような影響を及ぼしているのかを検討することであった。本研究の結果からは、血中アンモニア濃度は BCAA 摂取条件で有意に高くなることが示唆され、一方、運動中の血中乳酸濃度には両摂取条件間に差はなかった。したがって、乳酸 ( $H^+$ ) による影響は両摂取条件間でほぼ同じであったと考えられ、アンモニアによる疲労の影響は顕著になると考えた。

アンモニアは生体にとってきわめて有毒であり、乳酸 ( $H^+$ ) やセロトニンなどと同様に運動時の疲労物質と考えられている (荻野, 1999)。また、Nybo ら (2005) は、動脈血アンモニアレベルと脳のアンモニア吸収との間には相関関係がみられ、末梢でのアンモニア生成は、脳内へのアンモニア吸収および蓄積を高めるということを示唆している。これらのことから、BCAA 摂取による血中アンモニア濃度の上昇は運動時および回復期の疲労を促進するのではないかと予測をたてた。しかし、本研究においては、疲労の指標とした運動前後のカラーワードテスト、もしくは運動中の主観的運動強度の結果において、摂取条件および経時変化に伴う差はいずれも見られなかった。したがって、本研究で示された血中アンモニア濃度の上昇程度では、運動中の主観的運動強度や、回復期における疲労には影響はないものと考えられた。

井上ら (1999) は、短時間高強度の運動では、血漿アンモニア濃度は急激に上昇し、運動9分後にピーク値 ( $218.5 \pm 91.8 \mu\text{mol}/\ell$ ) を示すと報告している。また、漸増運動中の血中アンモニア濃度は、運動終了時に  $240 \mu\text{mol}/\ell$  以上に達することが報告されている (堤ら, 1988)。このような短時間高強度の運動や漸増運動に比べて、長時間の最大下運動では血中アンモニア濃度の上昇は緩やかであり、運動時間とともに徐々に増加する (Graham と MacLean, 1992)。Nybo と Secher (2004) は、脳内での過剰なアンモニアの取り込みは、運動によりアンモニア濃度が  $250 \mu\text{mol}/\ell$  以上の増加を示した場合に生じるのではないかと示唆している。本研究では、運動前および運動中に BCAA を摂取させることで、運動時の血中アンモニア濃度の上昇は著しくなったが、BCAA 摂取条件で  $141 \pm 21 \mu\text{mol}/\ell$ 、プラセボ摂取条件で  $100 \pm 16 \mu\text{mol}/\ell$  であり、Nybo と Secher が指摘する濃度にはほど遠い値であった。こ

のため本研究におけるアンモニア濃度の上昇は、疲労を誘発するほどではなかった可能性が考えられる。

疲労に影響を及ぼさなかった他の理由として、セロトニンとの関係が考えられる。運動中、中枢疲労を引き起こす要因として、脳内神経伝達物質であるセロトニンの増加が考えられているが(征矢, 1999)、脳内セロトニンは血中の遊離トリプトファンが基質となり合成される。血中のトリプトファンは、BCAAと同様に血液脳関門を通して脳内に輸送されるため、血中のBCAAとトリプトファンは競合状態にある(Blomstrandら, 2005)。一般に、安静状態では血中BCAA濃度が高いため、脳内へのトリプトファンの輸送は抑制されている。しかし、長時間の運動などにより血中BCAAが骨格筋に取り込まれることで血中BCAA濃度は減少し、相対的に血中遊離トリプトファンは増加する。その結果、脳内へのトリプトファン吸収が促進され、セロトニン合成が増加する(下村, 2003)。このことより、運動では脳内セロトニン濃度が上昇し、疲労を増すと考えられる。つまり、セロトニンによって誘発される疲労を軽減するためには、脳へのトリプトファン吸収を抑制することが必要であり、血中の遊離トリプトファンに対するBCAAの割合が重要となる。遊離トリプトファンに対するBCAAの割合の低下を改善する方法として、運動前や運動中のBCAAあるいは炭水化物(CHO)摂取が考えられている(Huffmanら, 2004)。未だBCAA摂取とセロトニンに関する研究の結果は明確ではないものの、BCAAの投与は、血中のBCAA濃度を高め、血中の遊離トリプトファンに対するBCAAの割合の低下を防ぎ、脳内へのトリプトファン吸収を抑制するのではないかと考えられている(下村, 2003)。本研究において、BCAA摂取により血中アンモニア濃度が有意に増加したにもかかわらず、運動後の疲労に差が生じなかったのは、BCAA摂取が運動中の血中BCAA濃度を高く維持し、脳内へのトリプトファン輸送を抑制し、脳内セロトニンの産生を抑え、疲労感を軽減したために、アンモニア濃度上昇に伴う疲労感が相殺されたことなども考えられるが、本研究では明らかではない。

また、血中グルコース濃度との関係も考えられる。一般に、肝臓のグリコーゲン貯蔵の枯渇による血中グルコースレベルの低下も、中枢神経系に影響を及ぼす要因の一つであると考えられている(Blomstrandら, 2005)。Nybo(2003)は、長時間の運動中における炭水化物摂取により、血中グルコース濃度の低下が抑制され、RPEの上昇が抑えられたという報告をしている。本研究においては、プラセボ摂取後30分の血糖値が、BCAA摂取条件より有意に高値を示したが、運動中では両摂取条件間に有意差は見られなかった。したがって、運動中のRPEに差が生じにくくなっていった可能性も考えられる。

以上のことより、BCAA摂取では、長時間の運動中の血中アンモニア濃度が有意に増加することが明らかとなったが、血中アンモニア濃度の上昇と疲労との関係は明確にならなかった。したがって、運動時のBCAA摂取は、血中アンモニア濃度を上昇させるが、明確な疲労を引き起こす可能性はないものと考えられた。

## V. 要約

本研究では、BCAA摂取が長時間の運動中の血中アンモニア濃度に及ぼす影響について、また、アンモニア濃度の上昇が運動中および回復期の疲労にどのような影響を及ぼすのかについて検討した。結果は以下に示す通りである。

1. 血中アンモニア濃度は、BCAA摂取条件においてプラセボ摂取条件よりも有意に高い値( $p < 0.05$ )を示し、運動前値からの変化率(%)でも運動中60分および90分において有意に高

値を示した。

2. 運動中の RPE は両摂取条件間ともほとんど変化せず一定であった。また、CWT の所要時間および誤答数においても、摂取条件間および時間経過による有意な差は見られなかった。以上のことより、BCAA 摂取条件では、長時間の運動中の血中アンモニア濃度が有意に増加することが示唆された。しかし、血中アンモニア濃度の上昇と疲労との関係は明らかにならなかった。

## VI. 参考文献

- Blomstrand E, Andersson S, Hassmen P, Ekblom B, Newsholme EA (1995) Effect of branched-chain amino acids and carbohydrate supplementation on the exercise-induced change in plasma and muscle concentration of amino acids in human subjects. *Acta Physiol Scand* 153 : 87-96
- Blomstrand E, Hssmen P, Ekblom B, Newsholme EA (1997) Influence of ingesting a solution of branched-chain amino acids on perceived exertion during exercise. *Acta Physiol Scand* 159 : 41-49
- Blomstrand E, Moiler K, Secher NH, Nybo L (2005) Effect of carbohydrate ingestion on brain exchange of amino acids during sustained exercise in human subjects. *Acta Physiol Scand* 185 : 203-209
- Davis JM, Bailey SP (1997) Possible mechanisms of central nervous system fatigue during exercise. *Med Sci Sports Exerc* 26 : 45-47
- Graham TE, MacLean DA (1992) Ammonia and amino acid metabolism in human skeletal muscle during exercise. *Can J Physiol Pharmacol* 70 : 132-141
- Guezennec CY, Abdelmalki A, Serrurier B, Merino D, Bigard X, Berthelot M, Pierard C, Peres M (1998) Effects of prolonged exercise on brain ammonia and amino acids. *Int J Sports Med* 19 : 323-327
- 萩野和秀 (1999) 運動時のアンモニア. *体育の科学*49 : 991-995
- Huffman DM, Altena TS, Mawhinney TP, Thomas TR (2004) Effect of n-3 fatty acids on free tryptophan and exercise fatigue. *Eur J Appl Physiol* 92 : 584-591
- 石黒伊三雄監修、篠原力雄・饒村護編集 (2006) わかりやすい生化学. ニューヴェルヒロカワ 東京 第4版 : 108-109
- 池上晴夫 (1995) 現代栄養学シリーズ18運動生理学 朝倉書店 東京 第1版 : 45-47
- 井上辰樹, 萩原暢子, 北村映子 (1999) 短時間高強度の運動時における血漿アンモニアの経時の変化. *ノートルダム女子大学研究紀要*29 : 35-42
- MacLean DA, Graham TE (1993) Branched-chain amino acids supplementation arguments plasma ammonia responses during exercise in humans. *J Appl Physiol* 74 : 2711-2717
- MacLean DA, Graham TE, Saltin B (1994) Branched-chain amino acids supplementation arguments ammonia metabolism while attenuating protein breakdown during exercise. *Am J Physiol* 267 : E1010-1022
- Madsen K, MacLean DA, Kiens B, Christensen D (1996) Effects of glucose, glucose plus branched-chain amino acids, or placebo on bike performance over 100km. *J Appl*

Physiol 81 : 2644-2650

Mittleman KD, Ricci MR, Bailey SP (1998) Branched-chain amino acids prolong exercise during heat stress in men and women. *Med Sci Sports Exerc* 30 : 83-91

水上茂樹, 谷口巳佐子, 中坊幸弘 (1992) ヒトの生化学. 講談社 東京 第1版97

Mourtzakis M, Graham TE (2002) Glutamate ingestion and its effects at rest and during exercise in humans. *J Appl Physiol* 93 : 1251-1259

日本生化学会 (1997) 細胞機能と代謝マップ I 細胞の代謝・物質の動態. 東京化学同人 東京 第1版 : 118-120

Nybo L (2003) CNS fatigue and prolonged exercise : effect of glucose supplementation. *Med Sci Sports Exerc* 35 : 589-594

Nybo L, Secher NH (2004) Cerebral perturbations provoked by prolonged exercise. *Prog Neurobiol* 72 : 223-261

Nybo L, Dalsgaard MK, Steensberg A, Moller K, Secher NH (2005) Cerebral ammonia uptake and accumulation during prolonged exercise in humans. *J Physiol* 563 : 285-290

小野寺孝一, 宮下充正 (1976) 全身持久力における主観的運動強度と客観的運動強度の対応性 — Rating of perceived exertion の観点から —. *体育学研究*21 : 191-203

下村吉治 (1999) 運動とアミノ酸代謝. *体育の科学*49 : 968-973

下村吉治 (2003) スポーツ時のアミノ酸の作用と効果～分岐鎖アミノ酸を中心として～. *FOOD Style* 217 : 66-69

征矢英昭 (1999) 運動時の中枢性疲労とアミノ酸代謝—セロトニン仮説を中心に—. *体育の科学*49 : 983-990

Snow RJ, Carey MF, Stathis CG, Febbraio MA, Hargreaves M (2000) Effect of carbohydrate ingestion on ammonia metabolism during exercise in humans. *J Appl Physiol* 88 : 1576~1580

Stroop JR (1935) Studies of interference in serial reactions. *J Exp Psychol* 6 : 643-661

堤達也, 後藤芳雄, 喜多尚武, 青木和江 (1988) 運動性疲労とアンモニア代謝. *体力研究*68 : 36-49

Van Hall G, Saltin B, Van der Vusse GJ, Soderlund K, Wagenmakers AJM (1995) Deamination of amino acids as a source for ammonia production in human skeletal muscle during prolonged exercise. *J Physiol* 489 : 251-261