



Title	分岐鎖アミノ酸の摂取が中強度運動時と運動後回復期の脂質代謝に与える効果
Author(s)	水野, 眞佐夫; Mizuno, Masao; 埜, 望 他
Citation	北海道大学大学院教育学研究院紀要, 114, 137-149
Issue Date	2011-12-27
DOI	https://doi.org/10.14943/b.edu.114.137
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/48189
Type	departmental bulletin paper
File Information	07Mizuno.pdf



分岐鎖アミノ酸の摂取が中強度運動時と運動後回復期の脂質代謝に与える効果

水野 眞佐夫* 埜 望**

Effects of Supplementation of Branched-Chain Amino Acids on Fat Metabolism during Moderate Exercise and Recovery

Masao MIZUNO and Nozomi HANAWA

【要旨】本研究は分岐鎖アミノ酸の摂取が中強度運動時と運動後回復期の脂質代謝に与える効果を検討した。運動習慣を有しない大学生男女各4名の合計8名を対象に、分岐鎖アミノ酸含有飲料またはプラセボ飲料を摂取させた後、最大心拍数45%から50%強度の自転車運動20分を2セット、5分間の休息を挟んで実施した。運動時から回復期において、心拍数、主観的運動強度の測定と、呼気ガス分析を行った。二重盲検交差法を用いて、分岐鎖アミノ酸含有飲料摂取条件とプラセボ飲料摂取条件を最低7日間の間隔をあけて実施した。この結果、酸素摂取量、心拍数、主観的運動強度、呼吸交換比において両条件間に統計学的有意差は認められなかった。しかしながら、BCAA含有飲料摂取条件における運動後回復期20-30分の体脂肪率と呼吸交換比との間に正の相関関係の傾向を示した。一方、プラセボ飲料摂取条件において相関関係は認められなかった。従って、分岐鎖アミノ酸含有飲料を摂取することにより体脂肪率が低いほど運動後回復期の脂質代謝が促進される可能性が本研究により示唆された。

【キーワード】分岐鎖アミノ酸、中強度運動、脂質代謝、呼吸交換比、体脂肪率、運動後回復期

I. 緒言

身体運動がエネルギー代謝に与える効果のひとつとして脂質代謝の亢進があげられる。適正な体脂肪量を維持することは、健康の保持・増進やスポーツ競技における運動パフォーマンスにとって重要である。持久的な運動は強度が高くなるほど脂肪燃焼量は多くなるが¹、一般的に健康づくりを目的とした運動では中強度運動の継続が推奨されている²。

近年、運動と組み合わせた分岐鎖アミノ酸（BCAA）含有飲料摂取の効果が注目

*北海道大学教育学研究院人間発達科学分野 体力科学

**北海道大学教育学部教育学専攻健康体育学系

されており、運動中の筋タンパク質の分解抑制³、運動後の筋タンパク質合成促進⁴、運動後の筋肉痛および筋疲労の回復促進⁵、運動中の主観的運動強度および運動後の中枢性疲労の低減⁶、運動後の血中乳酸値の上昇抑制、運動中の主観的疲労の軽減や酸素摂取量の上昇抑制⁷などの効果が報告されている。

本研究室における相蘇（2008）の卒業研究²¹では、成年男性を対象とした短時間高強度の間欠的運動のパフォーマンスにおいて BCAA 含有飲料摂取が脂質代謝に与える効果をプラセボ飲料摂取と比較し評価した。その結果として呼吸交換比には運動中と運動後回復期 0 分から 10 分において有意差が認められなかったものの、回復期 10 分から 20 分においては BCAA 含有飲料摂取条件で有意に低値を示したことから、BCAA 含有飲料の摂取が運動後回復期のエネルギー源として脂質の利用を促進している可能性が示唆された。

BCAA の摂取が脂質代謝を亢進する可能性を示唆する研究はいくつか報告されている。エリートレスラーの減量時において、低カロリーの食事と BCAA の摂取に高強度運動を組み合わせることで脂質代謝の亢進を誘導することが Mourier ら⁸により明らかにされている。また、男子大学生 5 名に 7 日間朝夕に BCAA を 4.5g ずつ摂取させ、60% $\dot{V}O_{2max}$ 相当のトレッドミル走を朝食 2 時間後に 10 分間、昼食 2 時間後に 20 分間実施させると、血清遊離脂肪酸が増加する傾向が報告されている⁹。ラットにおける研究では、6 週間食餌を 50% 制限し BCAA のひとつであるロイシンを食餌 1kg あたり 5.91g 投与すると、体脂肪が減少し、筋タンパク質合成を促進することが明らかにされている¹⁰。一方、BCAA の摂取が脂質代謝を阻害するという研究結果も報告されている。青木¹¹は、18~32 歳の 10 名の女性に最大運動強度の 4 割から 5 割で 40 分間の自転車運動を実施させた結果、BCAA を 1g 摂取した場合、プラセボ摂取に比べて脂肪消費を抑制すると示唆した。しかし、BCAA の酸化分解が亢進する運動時に十分な血中 BCAA 濃度を維持するには BCAA 2g 以上の摂取が必要であることを示した報告もある¹²。青木の研究では 1g の BCAA 摂取であり、血中 BCAA 濃度が十分に高まっていたとは推定し難い。このように BCAA 摂取と脂質代謝に関する研究はいくつか報告されているが、ヒトにおける中強度運動条件での BCAA 含有飲料の摂取が脂質代謝へ与える効果に関して一定の見解は得られていない。

中強度運動時において BCAA 含有飲料の摂取が脂質代謝に与える効果を明らかにすることは、健康の保持・増進、またスポーツ競技のトレーニングのプログラム構築にとって重要であると考えられる。そこで本研究は、健常非鍛練者における BCAA 含有飲料の摂取が等価カロリーの BCAA 非含有飲料の摂取と比較して中強度自転車運動時と運動後回復期の脂質代謝の亢進を誘導するか否かを明らかにすることを目的とした。

II. 方法

A. 被験者

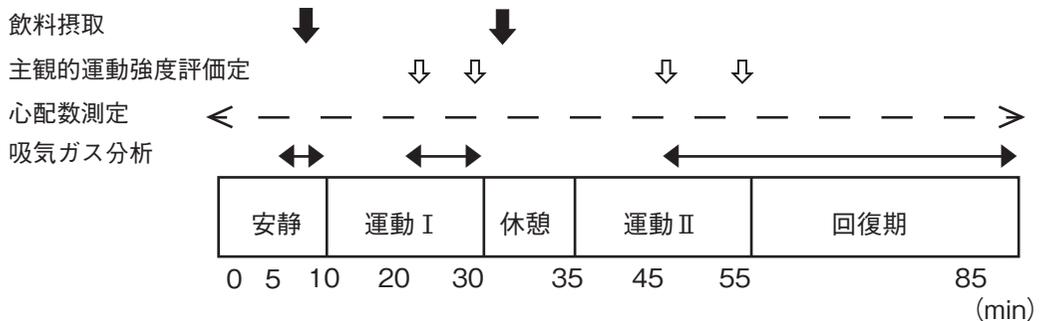
本学に在籍している、運動習慣を有しない大学生男女各 4 名、計 8 名を本研究の対象とした。被験者の身体的特性を表 1 に示す。本研究は北海道大学大学院教育学研究院倫理委員会の承認を得て、全ての被験者に本研究の目的、方法および実験の安全性について説明を行い、書面による研究参加の同意を得た上で実験を行った。

▼ 表 1 被験者の身体的特性

性別	被験者	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	体脂肪率 (%)	BMI
女	A	20	153.6	65.6	31.7	27.8
	B	20	159.0	69.0	31.3	27.3
	C	20	159.5	56.4	27.8	22.2
	D	20	156.5	57.4	25.7	23.4
	平均	20.0	157.2	62.1	29.1	25.2
	標準偏差	0.0	2.7	6.2	2.9	2.8
男	E	21	180.5	117.0	33.0	35.9
	F	21	169.0	85.6	27.0	30.0
	G	23	166.0	70.6	18.9	35.6
	H	22	179.5	81.0	25.2	25.1
	平均	21.8	173.8	88.6	26.0	29.2
	標準偏差	1.0	7.3	20.0	5.8	5.0
全体	平均	20.9	165.5	75.3	27.6	27.2
	標準偏差	1.1	10.2	19.7	4.6	4.3

B. 体脂肪率

体脂肪率は HBF-903 (オムロン) を用いて、インピーダンス法により測定した。体脂肪率による肥満の目安^{13,14}を用いて被験者を「軽度肥満」, 「中等度肥満」, 「重度肥満」に該当する高体脂肪率群と適正体脂肪率群に分類した。



▲ 図 1 飲料摂取実験プロトコル

C. 実験プロトコル

実験は二重盲検交差法を用いて実施した。BCAA 含有飲料摂取 (BCAA 摂取条件), あるいはプラセボ飲料摂取 (プラセボ摂取条件) による効果を評価するため, 全被験者をランダムに 2 条件に分けて 1 回目の実験を実施した。2 回目の実験は, 最低 7 日以上の間隔を空けた上で残りの BCAA あるいはプラセボ摂取条件で実施した。両摂取条件において, 10 分間の安静, 20 分間の運動 (運動 I), その後 5 分間の休息, 20 分間の運動 (運動 II), 30 分間の回復期を設定した。飲料摂取実験プロトコルは図 1 に示した。なお, 実験前日および当日は飲酒と刺激物の摂取を控えるよう指示した。

D. 心拍数

心拍数は PL-6000 (キャットアイ) を用い, 飲料摂取実験の安静開始から回復期終了まで測定した。被験者の安静時心拍数は 1 回目の飲料摂取実験より 7 日間以上前に測定した。

E. 主観的運動強度

ボルグスケール¹⁶を用い, 運動 I・IIそれぞれ開始 10 分後と運動終了直後に主観的運動強度 (6 から 20 までの 15 段階) を計 4 回被験者に評価させた。

F. 運動負荷

運動は自転車エルゴメーター StrengthErgo.240 (三菱電機エンジニアリング) を用いて行った。被験者は最大心拍数の 45% または 50% の運動強度の自転車運動を行った。回転数は毎分 60 回転に設定し, ピッチ音に合わせて漕ぐように指示した。運動負荷を決定する予備実験は, 1 回目の飲料摂取実験より 7 日間以上前に行った。最大心拍数を以下の式¹⁵により求め, 最大心拍数 50% 値を算出した。

女性: 最大心拍数 = $209 - 0.69 \times \text{年齢}$

男性: 最大心拍数 = $205 - 0.75 \times \text{年齢}$

3 分毎に女性は 40W, 男性は 50W 増加する漸増負荷法を用いて, 最大心拍数 50% に相当する運動負荷を求めた¹⁵。その際にボルグスケール¹⁶を用い, 負荷が上がるごとに主観的運動強度を測定した。本研究は健康の保持・増進のために運動する非鍛錬者でも無理なく実施できる中強度の負荷を採用した。そのため, 主観的運動強度が最大心拍数 50% 値の強度において「15 きつい」以上になると推定される被験者は, 運動負荷を最大心拍数 45% 値に設定した。

G. 飲料摂取

BCAA 摂取条件では BCAA 含有飲料 250ml (アミノバリュー, 大塚製薬), プラセボ摂取条件ではプラセボ飲料 250ml (ポカリスエットとイオンウォーターの混合 1 対 1 比, 大塚製薬) を, それぞれ安静開始直前と運動 I 終了直後に摂取させた。両飲料の成分は表 2 に示した。

▼ 表 2 実験で使用した摂取飲料の成分総和 (500ml 中)

	カロリー (kcal)	BCAA(g)	炭水化物 (g)
BCAA 含有飲料	90.0	4.0	18.0
プラセボ飲料	82.5	0.0	20.8

H. 呼気ガス分析

酸素摂取量および呼気ガス中の酸素濃度と二酸化炭素濃度は VO2000 (エスアンドエムイー) を用いて、安静 5-10 分、運動 I 10-20 分、運動 II 10-20 分、回復期 0-30 分に測定した。また、呼吸交換比を 30 秒ごとに計算し、安静時は 5 分間、運動 I・II と回復期は 10 分間毎の平均値として求めた。

I. 統計処理

測定結果は平均値±標準偏差で示した。各条件ごとの経時的変化の比較にはフリードマン検定を用い、有意差が認められた場合には下位検定としてシェッフエの多重比較を行った。対応のある2群の比較には、ウィルコクソンの符号付順位和検定を用いた。また、異なる2群の比較にはマンホイットニーのU検定を用いた。呼吸交換比と体脂肪率の相関について、スピアマンの順位相関係数を用いて評価した。全ての統計処理はエクセル統計2008を用いて行った。有意水準は5%未満を採用した。

Ⅲ. 結果

A. 被験者

体脂肪率と BMI の男女間の比較において統計学的に有意な差は認められなかった。体脂肪率による肥満の目安を用いて被験者を分類した結果、高体脂肪率群は「軽度肥満」が女子 2 名、「中等度肥満」が男子 2 名、「重度肥満」が男子 1 名の計 5 名、適正体脂肪率群は 3 名であった。運動負荷を最大心拍数の 45% 強度に設定したものは 5 名(高体脂肪率群 4 名, 適正体脂肪率群 1 名), 50% 強度に設定したものは 3 名 (高体脂肪率群 2 名, 適正体脂肪率群 2 名) であった。

B. 酸素摂取量

安静時・運動時・回復期の酸素摂取量について、BCAA 摂取条件とプラセボ摂取条件の比較において回復期 0-10 分と 20-30 分に BCAA 摂取条件が有意に高値を示した ($p < 0.05$) (図 2)。適正体脂肪率群と高体脂肪率群の比較において有意差は認められなかった。

全被験者における運動中の酸素摂取量は安静時と比較して高値を示した ($p < 0.05$)。BCAA 摂取条件: 3.4 ± 0.7 ($\text{ml kg}^{-1} \text{min}^{-1}$) から 18.5 ± 3.6 ($\text{ml kg}^{-1} \text{min}^{-1}$)、プラセボ摂取条件: 3.7 ± 0.9 ($\text{ml kg}^{-1} \text{min}^{-1}$) から 18.5 ± 3.2 ($\text{ml kg}^{-1} \text{min}^{-1}$)。

C. 心拍数

安静時・運動時・回復期の心拍数について BCAA 摂取条件とプラセボ摂取条件を比較すると有意差は認められなかった (図 3)。同様に、適正体脂肪率群と高体脂肪率群の比較において、心拍数の違いは認められなかった。

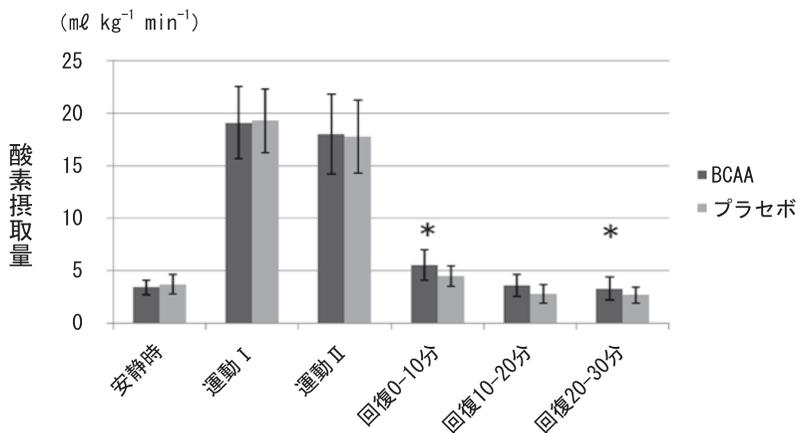
全被験者の運動中の心拍数は安静時と比較して高値を示した ($p < 0.05$)。(BCAA 摂取条件: 73.0 ± 10.9 bpm から 132.4 ± 6.0 bpm, プラセボ摂取条件: 72.8 ± 11.6 bpm から 133.1 ± 8.3 bpm)。

D. 主観的運動強度

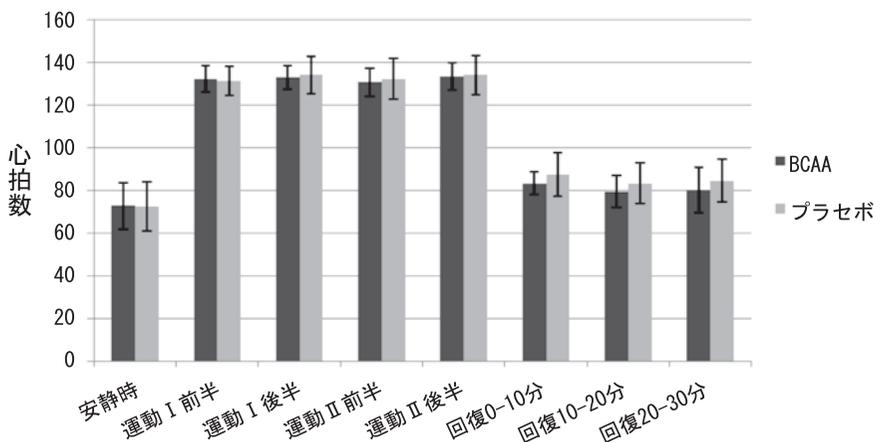
運動時の BCAA 摂取条件とプラセボ摂取条件の主観的運動強度の比較において有意差は認められなかった (図 4)。

E. 呼吸交換比

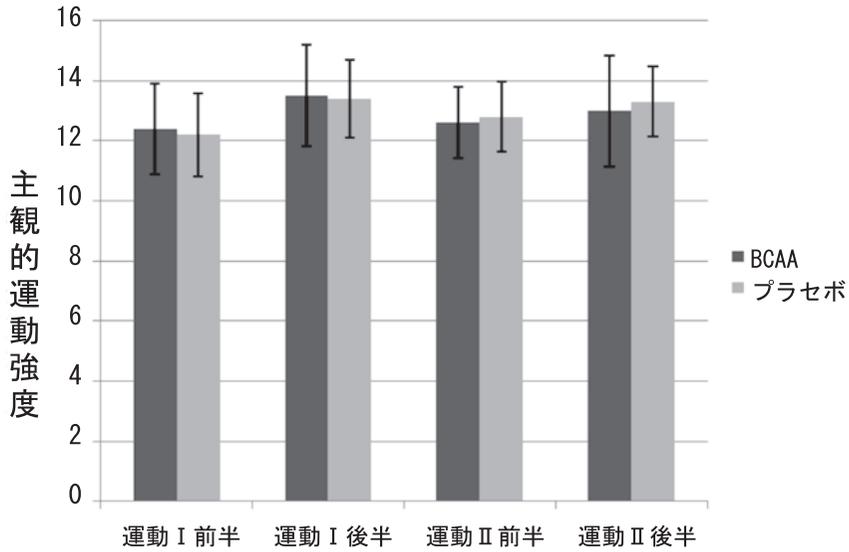
安静時・運動時・回復期の呼吸交換比について BCAA 摂取条件とプラセボ摂取条件を比較すると有意差は認められなかった (図 5)。適正体脂肪率群と高体脂肪率群の比較では、BCAA 摂取条件において安静時から回復期 20 分までは呼吸交換比の差が認められなかったが、回復期 20 分から 30 分において適正体脂肪率群が高体脂肪率群と比較して有意に低値を示した ($p < 0.05$) (図 6-1)。一方、プラセボ摂取条件において両群間に呼吸交換比の差は認められなかった (図 6-2)。BCAA 摂取条件における回復期 20-30 分の体脂肪率と呼吸交換比の関係を評価した結果、正の相関関係の傾向を示した ($r = 0.73, p < 0.1$) (図 7)。一方、プラセボ摂取条件において相関関係は認められなかった。



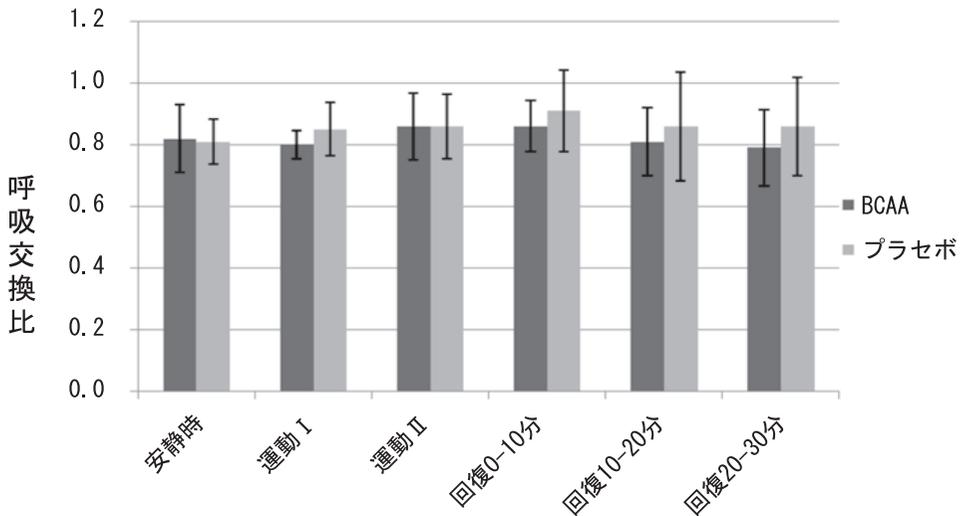
▲ 図 2 BCAA 摂取条件とプラセボ摂取条件における酸素摂取量の比較 (n=8)
(平均値 ± 標準偏差) (* $p < 0.05$)



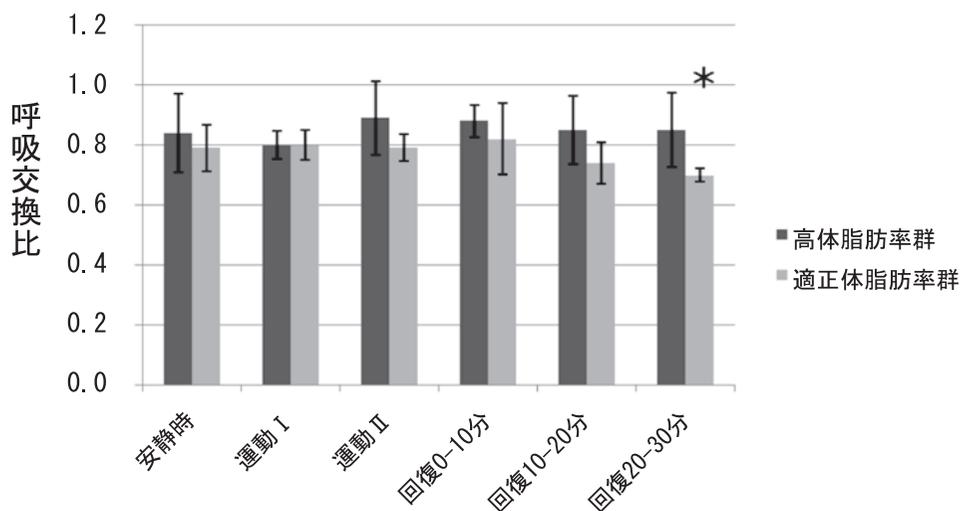
▲ 図 3 BCAA 摂取条件とプラセボ摂取条件における心拍数の比較 (n=8)
(平均値 ± 標準偏差)



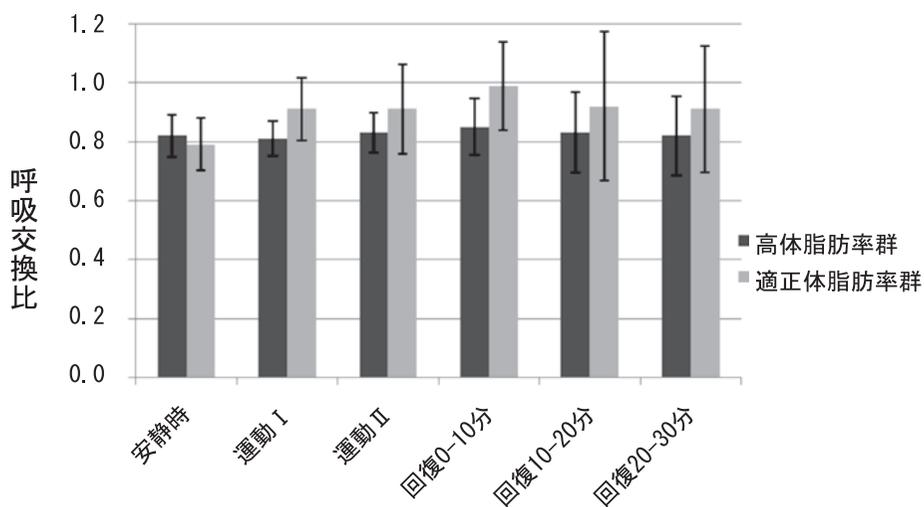
▲ 図4 BCAA 摂取条件とプラセボ摂取条件における主観的運動強度の比較 (n=8)
(平均値 ± 標準偏差)



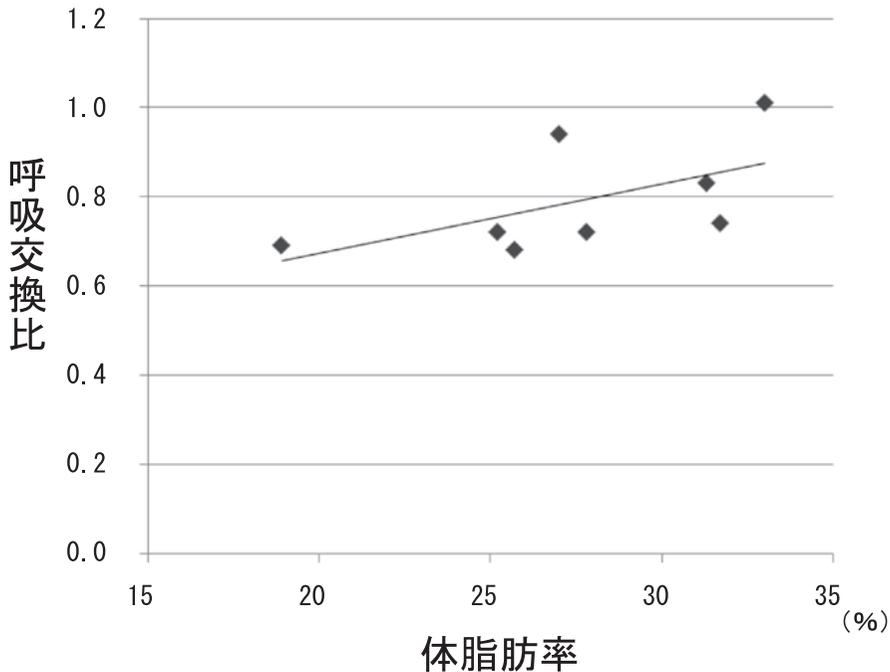
▲ 図5 BCAA 摂取条件とプラセボ摂取条件における呼吸交換比の比較 (n=8)
(平均値 ± 標準偏差)



▲ 図 6-1 BCAA 摂取条件における体脂肪率別の呼吸交換比の比較
(高体脂肪率群；n=5, 適正体脂肪率群；n=3)
(平均値 ± 標準偏差)(*p<0.05)



▲ 図 6-2 プラセボ摂取条件における体脂肪率別の呼吸交換比の比較
(高体脂肪率群；n=5, 適正体脂肪率群；n=3)
(平均値 ± 標準偏差)



▲ 図7 BCAA 摂取条件における回復期 20-30 分の呼吸交換比と体脂肪率の相関 (n=8) (p<0.1)

IV. 考察

本研究では、健常非鍛練者における BCAA 含有飲料の摂取が、等価カロリーの BCAA 非含有飲料の摂取と比較して、中強度自転車運動時と運動後回復期における脂質代謝の亢進を誘導できるかを評価した。その結果、BCAA 摂取条件とプラセボ摂取条件の比較において呼吸交換比に違いは認められなかった。BCAA 摂取条件における適正体脂肪率群と高体脂肪率群の比較では、安静時から運動時、そして回復期 20 分までは呼吸交換比に統計学的に有意な差は認められなかったが、回復期 20 分から 30 分において適正体脂肪率群が低い呼吸交換比を示した。一方で、適正体脂肪率群における BCAA 摂取条件とプラセボ摂取条件に呼吸交換比の違いは認められなかった。また、興味深い結果としては、BCAA 摂取条件において呼吸交換比と体脂肪率との間に正の相関関係の傾向が認められた点である。

本研究室における相蘇の卒業研究²¹では、成年男性を対象とした短時間高強度の間欠的運動パフォーマンスにおける BCAA 含有飲料摂取の効果をプラセボ飲料摂取と比較した。その結果、BCAA 含有飲料の摂取が運動後回復期のエネルギー源として脂質の利用を促進している可能性が示唆されており、相蘇の研究結果は本研究の結果を支持していないと位置づけられる。

本研究領域において数少ない研究成果のひとつである相蘇の研究と本研究の大きく異なる点は、A) 運動強度、B) BCAA 含有飲料とプラセボ飲料の糖質の差、C) 被験者の肥満度、D) 被験者が鍛練者か非鍛練者かについての4点である。以下、各々の相違点に関連して考察する。

A) 運動強度

運動強度について、相蘇の研究では毎分 15W 増加させるランプ負荷法で疲労困憊を誘導する方法であったが、本研究では最大心拍数の 45% または 50% 強度であった。先行研究¹⁰によると、30% $\dot{V}O_2\max$ から 70% $\dot{V}O_2\max$ まで上げる 5 種類の強度で 2 時間のトレッドミル走を行わせた場合、70% $\dot{V}O_2\max$ 強度において脂肪分解ホルモンであるアドレナリン、ノルアドレナリンの運動後の血中濃度は、他の強度と比較して有意に高値を示したと報告されている。本研究では中強度の運動であったため十分に脂肪分解ホルモンが分泌されず、回復期の呼吸交換比に差が認められなかった可能性が考えられる。

B) 摂取飲料

実験中摂取した糖質の量の合計について、相蘇の研究では BCAA 含有飲料に 27.9g、プラセボ飲料に 84.7g 含まれていた。一方、本研究では BCAA 含有飲料に 18.0g、プラセボ飲料に 20.8g 含まれていた。Koivisto ら¹⁷ は、2 時間に及ぶ 55% $\dot{V}O_2\max$ 強度の自転車運動を実施した際の血清遊離脂肪酸濃度は、運動前にブドウ糖を 75g 摂取した場合、水を摂取した場合と比較し有意に低値を示したと報告している。相蘇の研究では BCAA 含有飲料と比較してプラセボ飲料に糖質が多く含まれていたため、呼吸交換比に糖質の量の影響が生じた可能性が考えられる。本研究では両飲料の糖質の量は同水準であったため、糖質の量の影響をほぼ除外した条件で BCAA 飲料摂取の効果を検討できたと考えられる。

また、本研究では BCAA を実験当日のみ摂取させ一過性の効果を検討したが、BCAA を継続的に摂取させた研究も報告されている。屋代ら⁹は、7 日間朝夕に BCAA を 4.5g ずつ摂取させ、60% $\dot{V}O_2\max$ 相当のトレッドミル走を朝食 2 時間後 10 分間、昼食 2 時間後に 20 分間実施させると、血清遊離脂肪酸の増加傾向が認められたと報告している。本研究のプロトコルに加えて、BCAA を継続的に摂取させた上で脂質代謝を検討することにより BCAA 摂取の効果が認められる可能性が推察される。

BCAA 摂取条件とプラセボ摂取条件の比較において、酸素摂取量は回復期 0 分から 10 分、20 分から 30 分で BCAA 摂取条件が有意に高値を示した。BCAA 摂取条件とプラセボ摂取条件の回復期 0 分から 10 分、20 分から 30 分において呼吸交換比に有意差は認められなかったため、両条件とも糖質・脂質代謝の割合は同じ水準であったと推定される。したがって、BCAA 摂取条件において同等の ATP を産生するために必要な酸素摂取量が増大しており、回復期の代謝効率の低下が予想されるが、本実験ではその低下のメカニズムの解明にまでは至らなかった。

C) 肥満度の影響

肥満度に関して、相蘇の研究における被験者は平均身長 172.4cm、平均体重 64.4kg であったため、BMI は 22 程度であったと計算される。一方、本研究の被験者の BMI は 27.2 ± 4.3 であった。日本肥満学会の基準¹⁸によると、 $18.5 \leq \text{BMI} < 25.0$ は普通体重、 $25.0 \leq \text{BMI} < 30.0$ は

肥満 1 度であり、相蘇の被験者の BMI は普通体重と推定されるが、本研究の被験者は肥満 1 度に分類される。体脂肪率は相蘇の研究では測定されていなかったが、本研究の被験者は体脂肪率による肥満の目安^{13, 14}を用いて被験者を分類すると「軽度肥満」が女子 2 名、「中等度肥満」が男子 2 名、「重度肥満」が男子 1 名であった。先行研究によると、適正体脂肪率群と体脂肪率が 27% 以上の高体脂肪率群に、毎分 20W 増加するランプ負荷運動を疲労困憊に至るまで行わせた結果、高体脂肪率群は適正体脂肪率群に比べて脂肪酸化量が運動中に少なく、回復期の増加も緩やかである傾向がみられたと報告されている¹⁹。

D) 鍛練の効果

被験者が鍛練者か非鍛練者かについては、相蘇の研究²¹では被験者が本学体育会運動部に所属し、日ごろからトレーニングを行っていた競技であるのに対し、本研究では運動習慣のない学生を対象とした。先行研究によると、長距離走選手群、サッカー選手群、生活習慣病を有する一般外来患者群にトレッドミル用ランプ負荷法で 1 ステージ 1 分間の運動負荷試験を行わせ、最大脂質燃焼量を比較した結果、一般外来患者群と比較して長距離走選手群およびサッカー選手群が有意に高値を示すことが明らかになっている²⁰。本研究の高体脂肪率群は運動習慣がなく、日ごろからトレーニングを行っている鍛練者と比較して脂質代謝が活発でなかったと考えられる。そのために、BCAA 摂取条件の呼吸交換比において、適正体脂肪率群が高体脂肪率群と比較して、有意に低値を示した可能性が考えられる。BCAA 摂取条件において回復期 20 分から 30 分の呼吸交換比と体脂肪率に正の相関傾向が示されたが、プラセボ摂取条件において相関は認められなかった。この結果は、体脂肪率が低いほど脂質代謝が活発であり、BCAA 含有飲料摂取の効果が表れることを示唆するものであった。しかしながら、適正体脂肪率群における BCAA 摂取条件とプラセボ摂取条件の呼吸交換比は同水準であった。BCAA 摂取条件において、体脂肪率と呼吸交換比にどのような関係があるかは解明できなかった。体脂肪率と BCAA 摂取の効果に関しては今後さらなる研究が必要である。

本研究では、非鍛練者が健康づくりのために低強度から中強度の運動を行うことを想定して被験者は運動習慣のない学生を選択して、また、運動強度は中強度に設定した。その結果、脂質代謝は BCAA 摂取条件とプラセボ摂取条件の比較において有意差は認められなかった。一方、BCAA 摂取条件において呼吸交換比と体脂肪率に正の相関傾向が示され、体脂肪率が低いほど BCAA 含有飲料の摂取が脂質代謝を促進することが示唆された。脂質代謝をより促進させる条件を設定することで、中強度運動時の脂質代謝における BCAA 摂取のより詳細な効果を検討できると考えられる。今後は被験者の運動習慣や身体的特性を考慮した上で継続的な BCAA の摂取や運動強度の違いなどについて検討し、BCAA と脂質代謝の関連をより明らかにしていく必要がある。

V. 結論

本研究の結果から、健常非鍛練者における分岐鎖アミノ酸含有飲料の摂取が中強度自転車運動時と運動後回復期の脂質代謝に与える効果は認められなかった。しかし、分岐鎖アミノ酸含有飲料を摂取すると体脂肪率が低いほど運動後回復期の脂質代謝が促進されることが示唆され

た。今後の課題として、被験者の運動習慣や身体的特性を考慮した上で継続的な分岐鎖アミノ酸の摂取や運動強度の違いなどについての検討を重ねることにより、脂質代謝との関連がより明らかにされることが望まれる。

謝辞

本研究にご協力頂いた被験者の皆様に心より感謝いたします。なお、本研究は第二著者による北海道大学教育学部平成22年度卒業論文の研究結果をまとめたものである。

参考文献

- 1 豊岡示朗, 荒松馨, 松生香里。運動強度と運動時間から見た脂質代謝特性。大阪体育大学紀要, 35, 39-50, 2004.
- 2 厚生労働省。「21世紀における国民健康づくり運動(健康日本21)」2000.
- 3 K.Matsumoto, M.Mizuno, T.Mizuno, B.Dilling-Hansen, A.Lahoz, V.Bertelsen, H.Munster, H.Jordening, K.Hamada, T.Doi. branched-chain amino acids and arginine supplementation attenuates skeletal muscle proteolysis induced by moderate exercise in young individuals. *Int J Sports Med* 28, 531-538, 2007.
- 4 Donald K.Layman. role of leucine in protein metabolism during exercise and recovery. *Appl Physiol Nutr Metab* 27, 646-662, 2002.
- 5 佐藤寿一, 山本祐子, 濱田広一郎, 下村吉治。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, 22, 837-839, 2005.
- 6 Blomstrand E, Hassmen P, Ek S, Ekblom B, Newsholme EA. Influence of ingesting a solution of branched-chain amino acids on perceived exertion during exercise. *Acta Physiol Scand*, 159, 41-49, 1997.
- 7 鉄口宗弘, 三村寛一, 安部恵子, 中村浩也, 前田茂, 劉雲発。アミノ酸飲料が運動中の生体に及ぼす影響。大阪教育大学紀要, 53, 145-150, 2005.
- 8 A. Mourier, A. X. Bigard, E. De Kerviler, B. Roger, H. Legrand, C. Y. Guezennec. Combined effects of caloric restriction and branched-chain amino acid supplementation on body composition and exercise performance in elite wrestler. *J Sports Med*, 18, 47-55, 1997.
- 9 屋代正範, 永松俊哉。運動時のヒト血清遊離脂肪酸, グルコース及び乳酸レベルに及ぼす分岐鎖アミノ酸投与の影響。福岡教育大学紀要, 38 (5), 123-130, 1989.
- 10 Donato J Jr, Pedrosa RG, Cruzat VF, Pires IS, Tirapegui J. Effects of leucine supplementation on the body composition and protein status of rats submitted to food restriction. *Nutrition*, 22, 5, 520-527, 2006.
- 11 青木貴子。市販アミノ酸飲料摂取後の運動における脂肪消費, 岐阜市立女子短期大学研究紀要, 57, 53-56, 2008.

- 12 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. 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, 1-10, 2005.
- 13 長峯晋吉. 皮下脂肪厚からの肥満の判定. 日本医師会雑誌. 68, 9, 919-924, 1972.
- 14 Lohman TG. Applicability of body composition techniques and constants for children and youths. *Exer Sport Sci Rev*, 14, 1, 325-358, 1986.
- 15 東京大学身体運動科学研究室. 教養としてのスポーツ・身体運動. 財団法人 東京大学出版会 .PP168,2000.
- 16 小野寺孝一, 宮下充正. 全身持久性運動における主観的運動強度と客観的強度の対応性: Rating of perceived exertion の観点から. 体育学研究. 21, 191-203, 1976.
- 17 Koivisto VA, Härkönen M, Karonen SL, Groop PH, Elovainio R, Ferrannini E, Sacca L, Defronzo RA. Glycogen depletion during prolonged exercise: influence of glucose, fructose, or placebo. *J Appl Physiol* 58, 3, 731-737, 1985.
- 18 松澤佑次, 井上修二, 池田義雄, 坂田利家, 齋藤康, 佐藤佑造, 白井厚治, 大野誠, 宮崎滋, 徳永勝人, 深川光司, 山之内国男, 中村正. 新しい肥満の判定と肥満症の診断基準. 肥満研究. 6, 1, 18-28, 2000.
- 19 沢田千栄, 田中繁宏, 宮本忠吉, 大島秀武, 弘原海剛, 早川公康, 松岡愛, 前田如矢, 藤本繁夫. 健常者および高体脂肪率群における Ramp 負荷運動中および回復期の脂質代謝の検討. 体力科学. 46, 6, 732, 1997.
- 20 坂本静男, 渡辺尚彦, 赤間高雄, 鳥居俊, 福林徹, 橋本俊彦. 若年男性スポーツ選手および一般外来患者における最大脂質燃焼量と脂質代謝の検討. 日本臨床スポーツ医学会誌. 15, 2, 236-242, 2007.
- 21 相蘇真澄. 連続した身体運動における分岐鎖アミノ酸摂取の効果. 平成 20 年度北海道大学教育学部卒業論文, 2008.

