

ホエイ, カゼイン, およびその等量混合物摂取後の 血中アミノ酸動態牛乳由来タンパク質摂取後の血中アミノ酸

角谷雄哉*・中野 瞳**・小泉秀登**・麻見直美***

Time-Dependent Change of Plasma Amino Acid Concentration after Ingestion of Blend of Whey and Casein Proteins

Yuya KAKUTANI*, Hitomi NAKANO**, Hideto KOIZUMI** and Naomi OMI***

Summary

The velocity of absorption of dietary amino acids varies according to the type of dietary protein. Recently, blends of whey and casein protein products have been commercially appeared sports nutrition fields. However, change of plasma amino acid concentration after ingestion of blend of whey and casein protein is unclear. We hypothesized that the ingestion of an equal blend of whey and casein protein would maintain long time the plasma amino acids concentration than that of only whey protein.

To examine the digestion rate of blends of two proteins, we characterized time-dependent change of plasma amino acid concentration after ingestion of it.

This study consisted of three trials by double blind cross over fashion. The subjects were eight healthy people. The subjects ingested one of the 20g proteins: a whey only, a casein only, or an equal blend of whey and casein, respectively.

Plasma total amino acids (TAA) indicated a significant increase at 30 min after ingestion of protein and maintained up to 60 min. At 120 min after ingestion of protein, plasma TAA also indicated a significant decrease from 90min, and returned to the base line at 240 min. There was no significant variability of plasma amino acid concentration by types of protein on plasma TAA. As an ingestion of protein blends, area under the curve of plasma urea in male was significant lower compared with the whey protein ingestion. These findings might indicate that ingestion of blend protein probably resulted in promote postprandial protein deposition by inhibition of protein breakdown.

Key words: protein, casein, whey, total amino acid, protein blends

-
- * 筑波大学大学院人間総合科学研究科 (〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1)
Graduate School of Comprehensive Human Science, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8572, Japan
- ** 筑波大学体育専門学群 (〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1)
School of Health and Physical Education, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8572, Japan
- *** 筑波大学体育系 (〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1)
Faculty of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8572, Japan

I. 緒言

骨格筋の主な素材となるタンパク質はアスリートにとって関心の高い栄養素の一つである。血中アミノ酸濃度が上昇したときは骨格筋タンパク質合成も増加することが明らかとなっており²⁾、筋量の維持・増加のためにはタンパク質摂取後の血中アミノ酸濃度が重要である。一方、運動により骨格筋のタンパク質分解が促進されると考えられており、習慣的に運動を行っている者はタンパク質摂取量を増加する必要があると言われている¹⁷⁾。また、瞬発系種目の選手では、日本人の一般成人の摂取基準の約2倍にあたる体重1kg当たり2.0gを基準にして摂取することが望ましいとされている¹¹⁾。

タンパク質摂取を目的としたサプリメントにプロテインがある。現在市販されているプロテインのタンパク源の多くは乳性タンパク質のホエイタンパクとカゼインタンパクであり、その他に大豆タンパク質などがある。一般的に、ホエイタンパクは、チーズ作りの際に破棄される可溶性のホエイ画分から製造される¹⁵⁾。一方、カゼインタンパクは、スキムミルクを低pHにさらし固形化した部分から製造される¹⁵⁾。これらのタンパク源は吸収の速度が異なるとされている³⁾。この吸収速度の違いは食後のタンパク質利用率に影響し、その結果、体タンパク質の増減にも影響する⁵⁾。ホエイタンパクは消化・吸収速度が速く血中アミノ酸濃度のピーク値が高いが、血中アミノ酸濃度を長く保てない特徴がある³⁾。対象的に、カゼインタンパクは血中アミノ酸濃度を長く保つが、消化・吸収が遅く血中アミノ酸濃度のピーク値が低いとされている³⁾。これらの特徴は運動後摂取においても同様であると報告されている¹⁸⁾。

それぞれの特徴を活かす意図で、ホエイタンパクとカゼインタンパクを混合したプロテインが使用されている。しかし、現在幅広く使用されているホエイタンパク単独摂取との比較だけでなく、カゼインタンパク単独摂取と比較した研究もなく、混合摂取後における血中アミノ酸濃度の経時変化は明らかになっていない。一方、ホエイタンパクとカゼインタンパクを同時摂取できる食品にスキムミルクがある。運動後における、スキムミルク(カゼインタンパクを80%、ホエイタンパクを20%含有)の摂取は等エネルギーの大豆たんぱく摂取と比較して筋たんぱく質合成を促進すると報告されている¹⁹⁾。スキム

ミルクのタンパク源の8割はカゼインタンパクである。しかし、市販されているホエイタンパクとカゼインタンパクの混合プロテインは、等量(1:1)の割合で混合されている。素早く血中アミノ酸濃度を上昇することのできるホエイタンパクと長時間血中アミノ酸を維持できるカゼインタンパクを等量混合摂取することによって、ホエイタンパク単独摂取と比較して長時間血中アミノ酸濃度を維持する可能性が考えられる。

そこで本研究では、ホエイタンパクとカゼインタンパクの混合摂取後における血中アミノ酸濃度の経時変化を明らかにするために、それぞれのタンパク単独摂取と混合摂取の比較検討を行った。

II. 方法

A. 被験者

健康な成人男女11名を対象とし実験を行い、そのうち、欠損値がなく全てのデータが得られた8名(男性3人、女性5人)を分析の対象とした。

普段トレーニングを行っている者および習慣的にプロテインを摂取している者、喫煙者は対象から除外している。被験者にはあらかじめ研究の趣旨および内容について十分な説明を行い、同意書へのサインをすることで同意の意思を表明した者のみを被験者とした。実験開始前に、身長を自己申告、体重・体脂肪率・体脂肪量・筋肉量をインピーダンス法(TANITA MC-190)にて推定した。また、習慣的な栄養素等摂取量を食物摂取頻度調査FFQg Ver3.5(建帛社)により算出した。

なお、本研究はヘルシンキ宣言の精神に則り計画、実行した。また、筑波大学人間総合科学研究科倫理委員会の承認を受けて行った。

B. 実験プロトコル

本研究は、ダブルブラインドクロスオーバー法により1人の被験者に対し3試行を実施し、各試行間には1週間以上のウォッシュアウト期間を設けた。各試行において、被験者にはカゼイン・ホエイ・それらの混合(ホエイとカゼインの混合)の計3種類のプロテインのいずれか1種を摂取させた。単回のタンパク質摂取で同化作用が最大となるとされる20g¹³⁾を150mlの水に溶かして摂取させた。なお、混合はホエイとカゼイン各10gを混合したものである。各タンパクのアミノ酸組成をTable 1に示す。

ホエイ、カゼイン、およびその等量混合物摂取後の血中アミノ酸動態牛乳由来タンパク質摂取後の血中アミノ酸

実験プロトコルを Fig. 1 に示す。試験食摂取前および摂取後30分・45分・60分・120分・240分・420分の計7回、上腕静脈より各5mlの採血を行った。なお、抗凝固剤としてヘパリンナトリウムを使用した。

実験前日の夕食は規定食とし、20時までに食べ終わってもらった。規定食摂取後から実験終了までは、試験食および水以外の飲食を禁止した。さらに、試験食摂取後120分の採血終了までは水の摂取も禁止した。なお、規定食の体重当たりのエネルギー量は 12.0 ± 0.7 kcal/kg、たんぱく質量は 0.26 ± 0.02 g/kg であった。

Table 1 Total, essential, branch chain and glycogenic amino acid content of protein

(mg%)	Whey	Casein	1:1 Blend
Ala	4.8	2.8	3.8
Arg	1.9	3.4	2.7
Asp	11.0	6.6	8.8
Cys	2.6	0.3	1.5
Glu	16.8	20.3	18.6
Gly	1.6	1.7	1.7
His	1.7	2.8	2.2
Ile	6.2	4.7	5.4
Leu	10.0	8.5	9.3
Lys	9.2	7.4	8.3
Met	1.9	2.6	2.3
Phe	2.9	4.7	3.8
Pro	5.9	10.1	8.0
Ser	4.6	5.1	4.9
Thr	7.1	4.0	5.5
Tyr	2.9	5.2	4.0
Val	5.5	6.0	5.8
TAA	96.6	96.3	96.5
EAA	45.7	43.2	44.4
BCAA	24.8	22.0	23.4
GAA	49.6	53.5	51.6

TAA = total amino acid, EAA = essential amino acid, BCAA = branched-chain amino acid, GAA = glycogenic amino acid

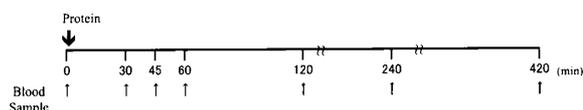


Fig. 1 Experimental protocol.

8 healthy non-exercisers (3 males and 5 females) were given 20g protein, whey, casein or blend, after approximately 12h fasting. Blood samples were collected 7 times at 0, 30, 45, 60, 120, 240 and 420min and analyzed the blood amino level in plasma.

C. 血中アミノ酸分析

採血はヘパリンを含有した真空採血管を用いて、1回の採血につき5mlを上腕静脈から採血した。採血後すぐに、転倒混和し3000rpm・4℃で15分間遠心を行い、血漿を得た。5-スルホサリチル酸二水和物 (5-Sulfosalicylic Acid Dihydrate, Wako Pure Chemical Industries, Ltd.) を用いて作成した3%スルホサリチル酸溶液と血漿を1:1の割合で混和し、15分の振とう後、冷蔵庫で1時間放置した。再度、3000rpm・4℃で15分間遠心し上澄み液を分離後、3mol/L LiOH溶液を加えpH2~3に調整した。なお、pHの測定はpH試験紙 (ADVANTEC test paper grade UNIV, Toyo Roshi Kaisha, Ltd.) にて行った。最後に、0.45μmのフィルター (Millex-Lh, Millipore Corporation.) でろ過し、分析試料とした。アミノ酸分析は筑波大学研究基盤総合センター分析部門に委託しアミノ酸分析光分析 (JLC-500/V2 Amino Acid Analyzer, JEOL, Ltd.) にて行った。

Table 1に示す17種類のアミノ酸を測定した。また、各アミノ酸の濃度を加算し、総アミノ酸 (TAA)、必須アミノ酸 (EAA)、分岐鎖アミノ酸 (BCAA) および糖原性アミノ酸 (GAA) の血中濃度をそれぞれ求めた。前処理の段階でグルタミンおよびアスパラギンは加水分解されそれぞれグルタミン酸、アスパラギン酸になる。よって、グルタミンとグルタミン酸、アスパラギンとアスパラギン酸を区分することはできないので、それぞれグルタミン酸、アスパラギン酸に含めた。また、同様の方法にて尿素も測定した。

各試行間の摂取前における血中アミノ酸濃度の違いによる影響を調整する為、各アミノ酸の摂取前濃度と測定値の差を検討した。尿素AUCの評価は、試験食摂取後120分の採血終了までが絶飲食なのでタンパク質摂取後120分間とした。

D. 統計処理

全てのデータは平均値±標準誤差で示した。

体格および栄養素等摂取量の男女間の差の検定には独立サンプルのt検定を用いた。

血中アミノ酸濃度の推移への各試験食の影響は対応のある反復測定二元配置 (Protein×Time) 分散分析、男女間の差の検定には対応の無い反復測定二元配置 (Sex×Time) 分散分析を用いた。また、それぞれの分析にて有意な交互作用が認められた場

合、事後検定として Bonferroni の方法を用いて単純主効果の検定を行った。

曲線下面積 (AUC) における各試験食の影響は対応のある一元配置分散分析後、事後検定として Bonferroni の方法を用いて多重比較を行った。男女間の差の検定には独立サンプルの t 検定を用いた。

全ての統計処理は IBM SPSS Statistics Ver.20 (IBM) を用いて行い、有意水準は危険率 5 % 未満とした。

Ⅲ. 結果

身体測定 of データおよび、エネルギー、タンパク質、脂質、炭水化物の各摂取量を Table 2 に示した。男性と比較して女性が、体脂肪率および脂肪量で有意な高値を、除脂肪量において有意な低値を示した。

各アミノ酸の摂取前からの変化量を Fig. 2 に示した。血中 TAA は試験食摂取後 30 分で有意に上昇し ($p < 0.001$), 60 分までその値を維持した。摂取後 120 分には低下し摂取前との有意差は無くなり、240 分経過で摂取前のレベルにまで低下した。なお、血中 TAA 濃度において、3 つの試行間で有意な違いはみられなかった (Fig. 2 A)。

血中 BCAA および EAA は、ホエイ摂取では試験食摂取後 30 分で有意に上昇し ($p < 0.001$), 60 分まで維持した。一方、カゼイン摂取における、血中 BCAA および EAA の上昇はホエイと比較して有意な低値を示した。混合摂取ではそれぞれの間を推移し、60 分ではホエイにより近い値であった。その後、ホエイ摂取では摂取 120 分には低下し摂取前との有意差は無くなり、240 分には摂取前のレベルに低下した。しかし、カゼイン摂取では、420 分後ま

で緩やかに減少していった。混合摂取では 120 分後の減少はホエイに近いものの、それ以降はカゼインと同様に緩やかな減少であった (Fig. 2 B; Fig. 2 C)。

血中 GAA は試験食摂取後 30 分で有意に上昇し、60 分までその値を維持した。摂取後 120 分には低下し摂取前との有意差は無くなり、ホエイ摂取では 240 分から大きく摂取前を下回った。カゼイン摂取では、120 分以降は 420 分まで緩やかに低下し、混合摂取では 120 分まではホエイ摂取と同様な推移であったが、それ以降は緩やかに減少し 240 分経過したところで摂取前のレベルにまで戻り、それ以降はカゼイン摂取と同じ推移となり、420 分後でホエイ摂取と同様のレベルまで低下した (Fig. 2 D)。

ホエイ、カゼイン、混合摂取における血中 TAA の AUC はそれぞれ、 383.5 ± 16.4 , 366.0 ± 15.3 , 365.5 ± 18.0 min·mmol/ml で、試験食による有意な違いはみられなかった。同様に、血中各アミノ酸においても試験食による有意な違いはみられなかった。

水摂取を制限している、タンパク質摂取後 120 分間において、男性の尿素 AUC は混合摂取がホエイ摂取と比較して有意に低値を示した (Fig. 3)。

Ⅳ. 考察

吸収速度が速いと言われている「ホエイタンパク」と遅いと言われている「カゼインタンパク」とそれぞれを「1:1 で混合した混合タンパク」、これら 3 種のタンパク摂取後の血中アミノ酸濃度の推移を明らかにすることを目的に本研究を行った。その結果、異なるタンパク質源の混合摂取後における血中アミノ酸濃度の経時変化は、それぞれの単独摂取

Table 2 Body composition and dietary intake.

	unit	Male (n=3)	Female (n=5)	Total
Age	y	22.7 ± 0.3	23.2 ± 0.9	23.0 ± 0.5
Height	cm	169 ± 2.1	162 ± 2.7	164.6 ± 2.2
Weight	kg	65.7 ± 3.9	57.4 ± 3.2	60.5 ± 2.8
% body fat	%	14.8 ± 0.7	28.6 ± 1.3*	23.4 ± 2.7
Fat mass	kg	9.7 ± 0.9	16.5 ± 1.6*	14.0 ± 1.6
Fat-free mass	kg	56.0 ± 3.2	40.9 ± 1.7*	46.5 ± 3.1
Energy intake	kcal·d ⁻¹	1895 ± 123	1667 ± 129	1753 ± 96
Protein intake	g·d ⁻¹	64.2 ± 3.3	53.3 ± 5.3	57.4 ± 3.9
Fat intake	g·d ⁻¹	64.1 ± 3.6	57.8 ± 7.6	60.2 ± 4.8
Carbohydrate intake	g·d ⁻¹	242.5 ± 24.3	226.8 ± 12.4	232.7 ± 11.2

Values are means ± SE. * = Significantly different between male and female ($p < 0.05$).

ホエイ, カゼイン, およびその等量混合物摂取後の血中アミノ酸動態牛乳由来タンパク質摂取後の血中アミノ酸

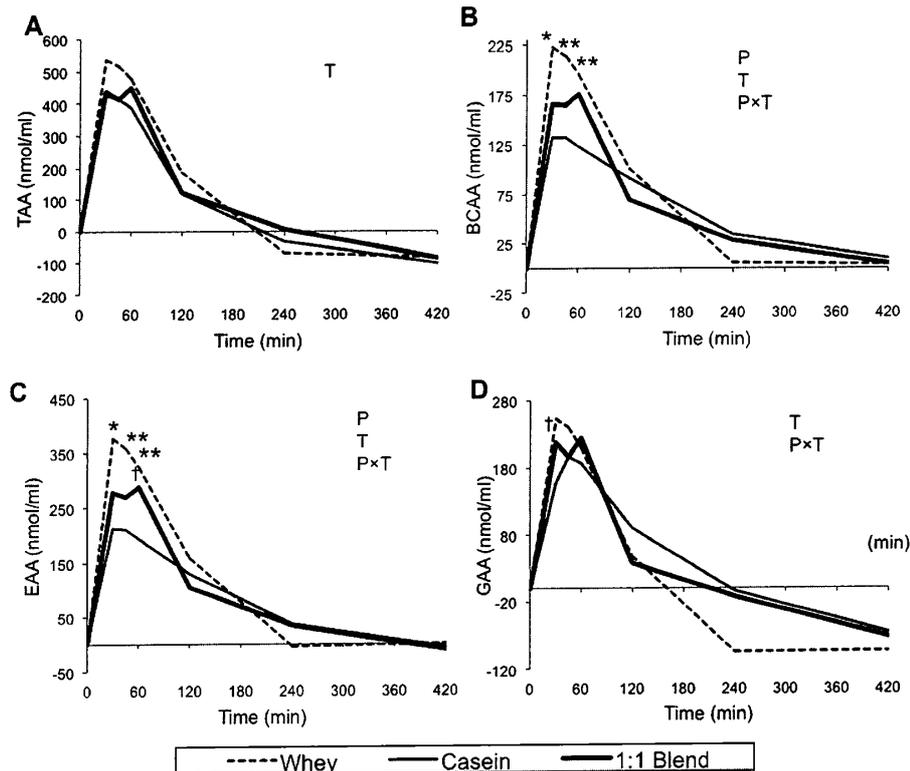


Fig. 2 Delta value change in total (A), brach chain (B), essential (C) and glycogenic (D) amino acid.

Data are means. Error bars have been omitted for clarity. † = Significantly different between 1:1 blend and casein ($p < 0.05$). *, ** = Significantly different between whey and casein (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$). P = Significantly protein effect, T = Significantly time effect, P×T = Significantly interaction between protein and time. TAA = total amino acid, EAA = essential amino acid, BCAA = branched-chain amino acid, GAA = glycogenic amino acid

のほぼ中間を推移することが明らかとなった。

試験食摂取後の血中 TAA を経時的に測定したところ、タンパク質源による違いはみられず、摂取後

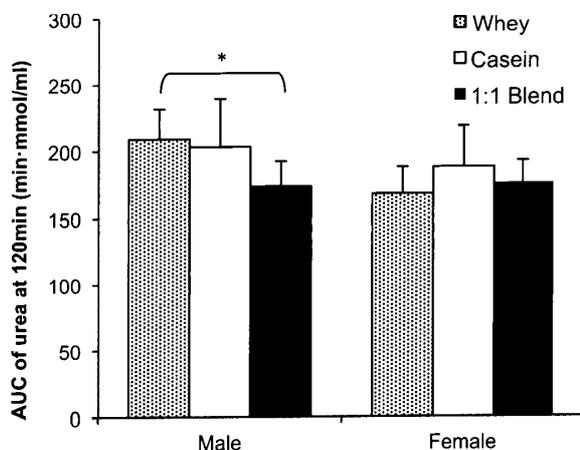


Fig. 3 Area under the curve of urea at 120min. Data are means \pm SE. (* $p < 0.05$)

30分までに急激に上昇し、摂取後120分では低下した (Fig. 2 A)。このことから、早朝空腹時に20gのタンパク質を摂取した場合、タンパク質源の違いによってTAAの吸収速度は大きく変わらないと考えられる。Boirie et al.の報告では、ホエイに比べカゼインが吸収は遅いが血中アミノ酸を長時間保つ³⁾とされている。しかし、本研究の結果ではホエイとカゼインの間に吸収速度の有意な差は確認されず、既報での現象が再現されなかった。その原因として2つのことが考えられる。ひとつは絶食時間の違いである。これまでの研究におけるタンパク質摂取前の絶食時間が10時間^{3, 19)}であるのと比較して、本研究では実験開始前までの絶食時間を12時間とっており、最後の採血まで換算すると19時間と長時間であった。ラットの実験では、絶食により中性アミノ酸および酸性アミノ酸の吸収率が増加すること¹⁾、

さらにペプチドでは吸収率が2倍に増加することが報告されている¹⁴⁾。一般的に絶食や栄養失調によりアミノ酸の吸収率は増加し、タンパク質摂取の減少により必須アミノ酸の取り込みも増加するとされている⁷⁾。つまり、本研究における長時間の絶食によりアミノ酸の吸収率が増加し、吸収が遅いとされるカゼインの特徴が相殺されたと考えられる。もうひとつの要因として、対象者の性別がある。女性は男性と比較して胃内滞留時間が長く¹²⁾、胃のpHが高い⁶⁾。また、腸管粘膜の酵素や輸送体は明らかにホルモン依存的で性別の影響をうける⁸⁾。さらに、Henderson et al.の研究では、女性は筋肉量が少ないにもかかわらず、除脂肪当たりの全身タンパク質および筋タンパク合成率は男性と比較して生涯を通して高いと報告している⁹⁾。これらのことから、タンパク質代謝は性別の違いによる影響を受けると考えられるが、これまでの異なるタンパク質源の消化・吸収に関する研究の多くは男性のみを対象としてきた。本研究では男女ともに対象者とした為、既報と同様の結果が得られなかった可能性が考えられる。データは示していないが、本研究の結果から特定のアミノ酸濃度の経時変化において、男女間に有意な違いが確認された。今後、アミノ酸消化吸収における性差の解明は有益なことであると考えられる。

BCAA・EAAおよびGAAの血中濃度の推移には、試験食と摂取後時間による有意な交互作用がみられた (Fig. 2 B; Fig. 2 C; Fig. 2 D)。事後検定として単純主効果の検定を行った結果、BCAAおよびEAAにおいて摂取後60分までは、ホエイがカゼインと比較して有意な高値を示しているものの、摂取後120分には有意な差がみられなくなった。また、摂取後420分までのAUCにおいて試験食による有意差はみられなかった。本研究では、摂取後420分と長時間にわたる測定を行っているため、摂取後すぐの血中アミノ酸濃度の差が相殺されたと考えられる。しかしながら、カゼインや混合のBCAA・EAA含有量はホエイと比較し少ない (Table 1)。本研究では、各プロテインの総摂取量は同じであるが、それぞれのアミノ酸組成が異なることから、摂取している各アミノ酸の量がタンパクの種類の違いによって異なっているため、このデータのみからは、ホエイとカゼインの吸収速度に対して言及することはできない。

GAAは、ホエイでは180分、他は240分から摂取

前の値を下回った (Fig. 2 D)。被験者は実験前日の試験食を摂取後12時間の絶食で、血糖が低下していることが予想される。そのため、多くのGAAが糖新生によって消費されたと考えられる。カゼイン、等量混合と比べて、ホエイでこの傾向が顕著であったのは、ホエイのGAA含量が少なかったためであろう。また、本研究は何もタンパクを摂取しない非摂取試行を設けなかったため、絶食の影響を取り除くことができなかった。食事の影響を取り除くため、絶食はやむを得ないが、非摂取試行の設置や実験開始前もしくは摂取から決まった時間に全試行でエネルギーを補給することなどで絶食の影響を取り除いた検討が必要である。

カゼインおよび等量混合はほとんどのアミノ酸でホエイに比べて前半の血中濃度が低値であった。血中アミノ酸濃度を高めることによって筋合成が促進される²⁾。また、タンパク質の吸収速度もタンパク質代謝に大きな影響を及ぼしている。吸収速度が速く急激に血中アミノ酸濃度が上昇することによりタンパク質の酸化が亢進するとされている³⁾。つまり、ホエイは血中アミノ酸濃度を急激に高め、タンパク質合成と同時に酸化も亢進している。一方で、カゼインはタンパク質合成への刺激はホエイほどではないまでも、異化抑制作用があるとされている³⁾。もっとも、カゼイン単独摂取では除脂肪量の増加はみられないといった報告もある⁴⁾。しかし、ホエイとの混合によって、筋タンパク質合成高めるといった効果が期待されている¹⁰⁾。実際、ホエイとカゼイン混合摂取が、ホエイにBCAAおよびグルタミンを添加した物の摂取と比べ10週間のトレーニングによる除脂肪体重の増加が有意に高かったことが報告されている¹⁰⁾。さらに、ホエイとカゼインが含まれるスキムミルク摂取が大豆タンパク摂取と比較して、レジスタンス運動後の総アミノ酸出納および筋タンパク質合成が高値を示したことが報告されている¹⁹⁾。本研究では、アミノ酸が酸化される過程で生成され、アミノ酸酸化の指標とされる血中尿素において、ホエイ摂取と比較して混合摂取では水分摂取を制限している120分までのAUCが有意に低値を示した ($p < 0.05$) (Fig. 3)。したがって、タンパク質源を混合し摂取することでそれぞれ単独に摂取する際と比較して、タンパク質摂取後のアミノ酸酸化亢進が抑えられていると考えられる。しかし、この効果には性差がみられ、女性では混合摂取による血中

ホエイ、カゼイン、およびその等量混合物摂取後の血中アミノ酸動態牛乳由来タンパク質摂取後の血中アミノ酸

尿素濃度への影響はみられなかった。血中尿素の濃度には性差があり、男性が女性に比べて高い値を示す。また、タンパク質やアミノ酸の代謝において性差が報告されているため⁹⁾、女性においては等量混合摂取による血中尿素への影響が認められなかったと考えられる。しかし、本研究では、女性の対象者において試験日の月経周期の調整を行っていないため、性差の原因を明らかにすることはできない。

アスリートが競技において優れたパフォーマンスを発揮するためには、それぞれのスポーツに適した筋量や筋力を獲得する必要がある。その筋量を左右する骨格筋タンパク質合成には血中アミノ酸濃度が大きな影響を及ぼすことがわかっている²⁾。さらに、アミノ酸濃度だけでなく消化吸収のスピードも食後のタンパク質代謝に影響を与える要因であるとされている⁵⁾。また、トレーニング経験のある健康な男性に10週間のトレーニングを行わせたところ、トレーニング後にホエイタンパクに吸収の速いBCAAを混合したドリンクを飲んでいただけの者に比べて、吸収の遅いカゼインタンパクを混合したドリンクを飲んでいただけの筋量が有意に増加したという報告がある¹⁰⁾。本研究は、吸収の異なるタンパク質の等量混合摂取後の血中アミノ酸濃度の推移を検討しており、等量混合摂取後のアミノ酸化抑制の可能性が示されたことから、筋量の増加を望むアスリートにとって有用であるといえる。実験の結果、タンパク質摂取後の血中アミノ酸濃度は等量混合摂取と単独摂取の間に有意な差はみられなかったものの、男性においてアミノ酸化を抑制する可能性が示された。我々は、ホエイとカゼインの等量混合摂取は新しいタンパク質摂取の方法として筋量や筋力の獲得を望むアスリートに対して提案できると考える。

本研究では、タンパク質の合成・分解の評価を十分に行っていないので、タンパク質代謝に対する詳細な影響は明らかではない。また、タンパク質摂取後の血中アミノ酸濃度には性差が影響すること考えられるため、性差を考慮することが必要である。しかし、性差を考慮するためには、本研究の対象者は男性3名、女性5名とサンプル数が極めて少ない。これらのことが本研究の限界としてあげられる。今後、同位体元素を用いた混合摂取後のアミノ酸濃度の経時変化が筋タンパク質代謝に与える影響の検討や、サンプル数を増やし男女別の解析を行うことが求められる。

しかしながら本研究の結果は、ホエイとカゼインの混合摂取後長時間にわたる血中アミノ酸濃度の経時変化を明らかにした。血中アミノ酸濃度はタンパク質代謝に大きく影響することから、本研究結果はサプリメントのタンパク質源を検討するにあたって有用なデータであると考えられる。

V. 結論

吸収速度の速いと言われているホエイタンパクと遅いと言われているカゼインタンパクと混合タンパク（ホエイとカゼインの同量混合）、これら3種のタンパク摂取後における血中アミノ酸濃度の経時変化を明らかにすることを目的に本研究を行った。

本研究の結果は、タンパク質摂取後の血中アミノ酸濃度は混合摂取によって変わらないものの、男性の等量混合摂取群において摂取後のアミノ酸化を抑制する可能性を示し、それらは絶食時間や性別によって変動することが明らかとなった。

今後は、体タンパク質の合成・分解の評価、長時間にわたる絶食の影響、運動習慣による影響を考慮した研究が望まれる。

参考文献

- 1) Bierhoff, ML and Levine, GM (1988) Luminal and metabolic regulation of jejunal amino acid absorption in the rat. *Gastroenterology* 95: 63-68.
- 2) Bohe, J, Low, A, Wolfe, RR and Rennie, MJ (2003) Human muscle protein synthesis is modulated by extracellular, not intramuscular amino acid availability: a dose-response study. *J Physiol* 552: 315-324.
- 3) Boirie, Y, Dangin, M, Gachon, P, Vasson, MP, Maubois, JL and Beaufriere, B (1997) Slow and fast dietary proteins differently modulate postprandial protein accretion. *Proc Natl Acad Sci USA* 94: 14930-14935.
- 4) Cribb, PJ, Williams, AD, Carey, MF and Hayes, A (2006) The effect of whey isolate and resistance training on strength, body composition, and plasma glutamine. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 16: 494-509.
- 5) Dangin, M, Boirie, Y, Garcia-Rodenas, C, Gachon, P, Fauquant, J, Callier, P, Ballevre, O and Beaufriere, B (2001) The digestion rate of protein is an independent regulating factor of postprandial protein retention. *Am J Physiol Endocrinol Metab*

- 280: E340-8.
- 6) Feldman, M and Barnett, C (1991) Fasting gastric pH and its relationship to true hypochlorhydria in humans. *Dig Dis Sci* 36: 866-869.
 - 7) Ferraris, RP and Carey, HV (2000) Intestinal transport during fasting and malnutrition. *Annu Rev Nutr* 20: 195-219.
 - 8) Freire, AC, Basit, AW, Choudhary, R, Piong, CW and Merchant, HA (2011) Does sex matter? The influence of gender on gastrointestinal physiology and drug delivery. *Int J Pharm* 415: 15-28.
 - 9) Henderson, GC, Dhatariya, K, Ford, GC, Klaus, KA, Basu, R, Rizza, RA, Jensen, MD, Khosla, S, O'Brien, P and Nair, KS (2009) Higher muscle protein synthesis in women than men across the lifespan, and failure of androgen administration to amend age-related decrements. *FASEB J* 23: 631-641.
 - 10) Kerksick, CM, Rasmussen, CJ, Lancaster, SL, Magu, B, Smith, P, Melton, C, Greenwood, M, Almada, AL, Earnest, CP and Kreider, RB (2006) The effects of protein and amino acid supplementation on performance and training adaptations during ten weeks of resistance training. *J Strength Cond Res* 20: 643-653.
 - 11) 小清水孝子, 柳沢香絵, 横田由香里 (2006) 「スポーツ選手の栄養調査・サポート基準値策定及び評価に関するプロジェクト」報告. *栄養学雑誌* 64: 205-208.
 - 12) Mojaverian, P, Vlasses, PH, Kellner, PE and Rocci, ML, Jr (1988) Effects of gender, posture, and age on gastric residence time of an indigestible solid: pharmaceutical considerations. *Pharm Res* 5: 639-644.
 - 13) Moore, DR, Robinson, MJ, Fry, JL, Tang, JE, Glover, EI, Wilkinson, SB, Prior, T, Tarnopolsky, MA and Phillips, SM (2009) Ingested protein dose response of muscle and albumin protein synthesis after resistance exercise in young men. *Am J Clin Nutr* 89: 161-168.
 - 14) Ogihara, H, Suzuki, T, Nagamachi, Y, Inui, K and Takata, K (1999) Peptide transporter in the rat small intestine: ultrastructural localization and the effect of starvation and administration of amino acids. *Histochem J* 31: 169-174.
 - 15) 岡本 奨 (1988) 食品化学用語辞典. 建帛社, 東京.
 - 16) Paul, GL (2009) The rationale for consuming protein blends in sports nutrition. *J Am Coll Nutr* 28 Suppl: 464S-472S.
 - 17) Tarnopolsky, MA, Atkinson, SA, MacDougall, JD, Chesley, A, Phillips, S and Schwarcz, HP (1992) Evaluation of protein requirements for trained strength athletes. *J Appl Physiol* 73: 1986-1995.
 - 18) Tipton, KD, Elliott, TA, Cree, MG, Wolf, SE, Sanford, AP and Wolfe, RR (2004) Ingestion of casein and whey proteins result in muscle anabolism after resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc* 36: 2073-2081.
 - 19) Wilkinson, SB, Tarnopolsky, MA, Macdonald, MJ, Macdonald, JR, Armstrong, D and Phillips, SM (2007) Consumption of fluid skim milk promotes greater muscle protein accretion after resistance exercise than does consumption of an isonitrogenous and isoenergetic soy-protein beverage. *Am J Clin Nutr* 85: 1031-1040
(2013年6月20日受付, 2013年9月25日訂正,
2013年10月4日受理)