

アミノ酸摂取と運動が脂質代謝に与える影響

山内 崇靖^{立教大学大学院} 杉浦 克己^{立教大学ウエルネス研究所}

I.はじめに

1.スポーツ栄養学

「スポーツ栄養学」は、トップアスリートのパフォーマンス改善やコンディション維持を支えるものスポーツ科学の1分野として発達し、トップクラスのスポーツでは、チームや個人に専属の栄養士がついて選手のコンディションをサポートするなど、競技力向上に必要不可欠なものとして認知されてきている。

さらに近年、女性を中心とした痩身願望や国民の健康志向が高まりつつあり、女性のダイエット方法に着目した雑誌やテレビ番組では、運動だけでなく、食事のアドバイスも併用したものが認められるようになり、幅広くスポーツ栄養の知識が活用されている。

このように、スポーツ栄養学はアスリートの競技力サポートという面だけではなく、あらゆる人の生活活動や運動実施

状況などライフスタイルに合わせた健康づくりにも寄与している。

2.食習慣の変化

しかし、スポーツ栄養学の発達に比例するように、我が国では、食生活の欧米化や偏食などの食習慣の変化と運動習慣の衰退により、体脂肪が増えて肥満となり、生活習慣病やメタボリック・シンドローム（内臓脂肪症候群）に悩まされる人が増加している。

この現状を踏まえ、厚生労働省はメタボリックシンドロームの予防・改善をするために、「1に運動、2に食事、しっかり禁煙、最後にクスリ」というスローガンを掲げてきた。こうした生活習慣病やメタボリック・シンドロームに悩まされる人に加えて、前述したように、近年の女性を中心とした痩身願望や国民全体の健康志向の高まりに対しても、メディアによる運動と食事の重要性が報じられて

おり、現在では国家レベルで運動と食生活に対する見直しが叫ばれている。

3.スポーツ栄養学とアミノ酸の台頭

そして、スポーツ栄養学の研究が盛んになることで、様々な栄養素の生理学的効果が明らかにされてきた。そのことにより、市場には栄養補助サプリメントやエルゴジェニックエイド（運動パフォーマンスの向上・増強に影響する可能性のあるもの）、加えて、ダイエットを目的とした代替食品（ミール・リプレースメント）など多くの商品が出回っている。その中でも、タンパク質（プロテイン）やアミノ酸を含有している商品が店頭にな

多く並び、アスリートやスポーツ愛好家を始め、幅広く愛用されている。

特に、近年ではアミノ酸ブームが巻き起こり、アミノ酸＝「健康に良いもの」として認識されてきている。当初、アミノ酸はトップアスリートの中に流行し、摂取するのが常識と考えられるようになっていったが、一般のスポーツ愛好家にはあまりよく知られていないものであった。しかし、アミノ酸の認知率は1998年～2004年の7年間ではほぼ9割であり、加えて、アミノ酸ブームを反映して、2000年～2003年での摂取意向が3倍近くになったという報告がされている（図1）。

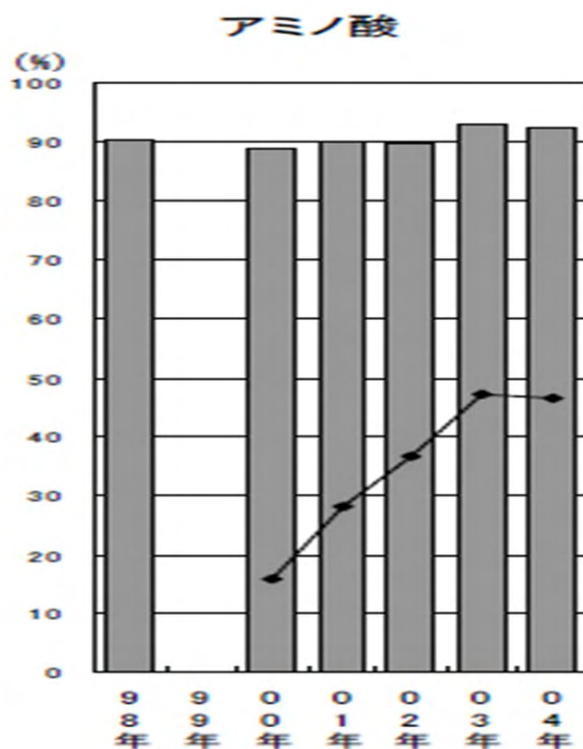


図1 アミノ酸の認知度と摂取意向の変動

（株式会社日本能率協会総合研究所 マーケティング・データ・バンク：「健康ニーズ基本調査 2004」結果の速報より引用）

アミノ酸は、運動からの疲労回復に効果があるとして人気が出始め、そして、徐々に身体づくりや脂肪燃焼にも有効という万能薬的なものと捉えられるようになり、現在では企業により専門的な製品として粉末・顆粒タイプ（アミノバイタル 味の素株式会社）やドリンクタイプ（VAAM 株式会社明治、アミノバリュー 大塚製薬株式会社）、ゼリータイプ（ウイダーinゼリー 森永製菓株式会社）などが開発されている。

4. アミノ酸と体脂肪

このように日本国内では、タンパク質・アミノ酸のドリンクやアミノ酸含有のダイエット食品、あるいは粉末タイプのアミノ酸食品が存在している。そして、アスリートやスポーツ愛好家はもちろんのこと、長時間運動をしない、あるいは激しい運動をしない人々にも摂取されるようになってきた。アスリートやスポーツ愛好家は、筋量増加やパフォーマンスの向上を目的として使用していることが多い。だが、あまり運動習慣の無い人の多くの人々が、タンパク質・アミノ酸の摂取と運動の相乗効果として、メタボリックシンドロームの改善や健康維持・ダイエットを期待しているように思える。特に、体脂肪を燃焼させる効果を期待している人が少なくない。体脂肪を燃焼させることは、アスリートの身体づくりやパフォーマンス向上に大きな影響を与えるだけでなく、メタボリックシンドロームの改善や健康維持・ダイエットを目指す人にとっても重要なことである。実際に、運動とアミノ酸の摂取によって脂肪を燃

焼する効果が増進するのであれば、日本国内で問題視されている“脂肪の蓄積による健康への悪影響”を改善・解消することが出来るのではないかと考えられる。

5. アミノ酸と脂肪燃焼効果の実際

確かに、タンパク質やアミノ酸の摂取と運動の組み合わせにおける効果を研究したものは数多く存在している。van Loon らは、タンパク質やアミノ酸の摂取と運動における生理学的作用を研究しているものの多くは筋肉レベルのものであると指摘しており（van Loon et al, 2007）、アミノ酸と運動の併用による脂肪燃焼に焦点を当てた研究は行われているが、結果が曖昧なのが現状である。

動物が対象の実験において、運動とアミノ酸摂取の組み合わせによって、脂質代謝の亢進が認められたという結果が報告されている。Abe らは、スズメバチアミノ酸混合物（Vespa Amino Acid Mixture; VAAM: スズメバチの幼虫の吐き出す唾液に含まれる 17 種類のアミノ酸混合物）をネズミに経口摂取させ、持久運動としての遊泳運動を行わせ、脂肪酸に対する作用を分析した結果、脂肪酸酸化が増加し、ノルアドレナリンのホルモンの作用を通じて持久運動中の有酸素代謝を高めたと示唆している（Abe et al, 1997.）。しかし、ヒトが対象となった場合は少し異なる。水野らは、健常な男子 6 名を対象に、自転車エルゴメーターによる持久的運動をさせ、VAAM とカゼイン水溶液における運動時代謝反応を比較したところ、血中乳酸や血糖値、遊離脂肪酸に有意な差は認められなかったと

報告している（水野ら, 1995）。このように、ヒトが対象となった場合にポジティブな結果が報告されている研究は少ない。

運動不足の人や運動頻度が少ない人が行う健康維持・増進、痩身目的のための運動は、あまり長時間の運動ではなく、運動強度も低～中等度のものである。そういった状況で本当にタンパク質・アミノ酸を摂取することで体脂肪燃焼効果が期待できるのだろうか。

そこで、本稿ではアミノ酸の運動についての効果や影響をまとめ、さらに運動とアミノ酸摂取の併用によって期待される体脂肪燃焼効果に対する可能性についてまとめていく。

II.アミノ酸と運動

1.アミノ酸

アミノ酸はタンパク質の構成成分であり、主に筋肉や血液など身体をつくる役割を担う。しかし、矢ヶ崎らは、アミノ酸はエネルギー源、生理活性分子の前駆体として機能するほか、ホルモン分泌を

促したり、自ら信号分子として働き、代謝や細胞機能を調節するなど多様な機能を有し、これらの特性を基に飼料・医療・サプリメント・化粧品など広範に応用されているとしている（矢ヶ崎ら, 2007）。生体内では、消化管の消化酵素により、タンパク質のペプチド結合が分解されて小腸から吸収され、約 20 種類の L-アミノ酸となる。このタンパク質を構成する 20 種類のアミノ酸は、9 種類の必須アミノ酸と 11 種類の非必須アミノ酸に分けることができる。ヒトの体内では十分に合成できないため、食事から栄養分として摂取しなければならない必須アミノ酸

（バリン、ロイシン、イソロイシン、メチオニン、リジン、スレオニン、トリプトファン、フェニルアラニン、ヒスチジン）と、体内で合成することができる非必須アミノ酸（アスパラギン、アスパラギン酸、アラニン、アルギニン、グリシン、グルタミン、グルタミン酸、システイン、セリン、チロシン、プロリン）がある（表 1）。

表 1 必須アミノ酸と非必須アミノ酸の分類

必須アミノ酸	非必須アミノ酸
バリン	アスパラギン
ロイシン	アスパラギン酸
イソロイシン	アラニン
メチオニン	アルギニン
リジン	グリシン
スレオニン	グルタミン
トリプトファン	グルタミン酸
フェニルアラニン	システイン
ヒスチジン	セリン

	チロシン
	プロリン

しかし、成長期や運動後には多くのタンパク質をつくるため、相応のアミノ酸が必要となり、体内での合成が追いつかない場合もあるので、非必須アミノ酸も食事などから積極的に摂る必要がある。このように、非必須と言っても、摂取しなくてもいいというわけではない。

門脇らは、必須・非必須アミノ酸の分類は動物種によって少し異なり、ブタ、ラット、マウスではアルギニン、ニワトリではアルギニン、グリシンも必須アミノ酸となると記している(門脇ら、2008)。また、下村らは、これらのアミノ酸を最も多く含む臓器は筋肉であり、一般的に体重のおよそ 40%を占めており、最もアミノ酸を多く貯蔵している組織であると報告している(臨床スポーツ医学、2009)。このことから、アミノ酸は筋肉を使う運動やスポーツにおいて効果を発揮すると考えられる。

2.アミノ酸と運動

アミノ酸と運動の歴史は意外にも古く、Tipton と Wolfe は、アミノ酸から構成されるタンパク質(プロテイン)が、スポーツのサプリメントとして使用されるようになったのは古く、古代ギリシアの時代からアスリートの成功にとって重要な栄養素であると考えられていたと指摘しており(Tipton & Wolfe, 2004)、van Loon らは、現在の運動パフォーマンスにおける栄養学の役割についての研究成果に伴い、ここ 20 年でアミノ酸やタンパク

質(プロテイン)など重要な役割を担うという事が再認識されてきたとしている(van Loon et al, 2007)。

また、前述したように多様な生理作用をもたらすため、多くの企業が、運動時において摂取するアミノ酸配合サプリメントやアミノ酸含有のスポーツドリンクなどの商品を生産している。メルビンらは、このようにアミノ酸サプリメントやその関連商品が、食事では摂取しきれない栄養素を補うダイエタリーサプリメント(Dietary Supplements)としてだけではなく、運動パフォーマンスの向上や増強に影響する可能性のあるエルゴジェニックエイド(Ergogenic Aids)としての面が非常に注目されているとしている。さらに、エルゴジェニック(ergogenic)という用語は、ギリシャ語の ergon(仕事)と gennan(生産する)という言葉に由来し、(a)栄養学的補助、(b)薬理的補助、(c)生理学的補助、(d)心理学的補助、および(e)機械的あるいはバイオメカニクスの補助の 5 つのカテゴリーに分類されると報告しており(ウィリアムズ, 2000)、近年では、運動時においては特に、(a)栄養学的補助と(c)生理学的補助の役割が期待されている。

3.運動に対するアミノ酸の有効性

今日の競技スポーツは、「より速く、より強く、より高く」が求められるようになり、スポーツの高度化が進んできた。それに伴い、スポーツ分野に栄養学が進

出し、「より速く、より強く、より高く」を実現させるため、アスリートの食事面のサポートだけでなく、パフォーマンスに影響しうる栄養素・栄養物質の研究がなされてきた。

そこで、アミノ酸やクレアチンなどの運動への影響が徐々に解明されつつあり、それらのサプリメントのエルゴジェニックエイドとしての役割が期待されている。そして現在、運動とアミノ酸の有効性の研究は、筋肉レベルのものや運動パフォーマンスに関するものが多い (van Loon et al, 2007)。筋肉レベルでは (1.) 筋肥大・筋力維持への貢献、(2.) 運動後の筋損傷の回復・筋肉痛の軽減、運動パフォーマンスでは、持久力向上や運動中の中枢性疲労の軽減などの生理学的効果が主な効果として挙げられている。ここからは、運動とアミノ酸による筋肉レベルと運動パフォーマンスへの有効性をまとめていく。

①筋肉レベルでの有効性

(a.) 筋肥大・筋力維持への貢献

激しい運動をすることで、骨格筋タンパク合成率は刺激され、同時に筋タンパク分解も起こる (Phillips et al, 1997)。そして、運動後に骨格筋タンパク代謝回転が増加し、筋タンパク質バランス (筋タンパク合成ー筋タンパク分解) が改善される。Dillon らは、この筋タンパク質代謝の激しい変化が積み重なることによって、筋肉量と筋力の増加がもたらされると明らかにしている (Dillon et al, 2011)。スポーツ選手や高強度の運動を行っている人々にとって、筋肥大をさせる

ことは、競技力向上や体づくりに影響を与えるが、運動習慣のない人にとっても、健康づくりやケガの防止・リハビリなどに役立つ。

Biolo らは、運動後に対象者にアミノ酸の摂取させた結果、運動によって上昇した骨格筋タンパク質合成がさらに増加したとし、タンパク質分解は抑制されたと報告している (Biolo et al, 1997)。さらに、Børsheim らはレジスタンス運動後 1 時間で必須アミノ酸 (EAA) 6g を摂取させると、骨格筋タンパク質合成 (MPS) を劇的に増加させ、摂取後 3 時間まで骨格筋タンパク質分解 (MPB) の微増と共に、全体的に大きなポジティブなタンパク質ネットバランスになると明らかにしている (Børsheim et al, 2002)。例に挙げた 2 つの研究は、筋タンパク質バランス (筋タンパク合成ー筋タンパク分解) が正となることで、筋肥大や筋肉量の増加を招くことを証明している。

また、筋量の維持にも貢献するという報告もある。例えば、加齢とともにレジスタンスエクササイズによる筋タンパク質合成能力が低下していくとされ、若い人の方が年配の人よりも筋タンパク質合成が高い (Walker et al, 2011) が、Drummond らは、レジスタンストレーニングの 1 時間後に 20g の必須アミノ酸 (EAA) を与えた結果、若い人と年配の人の筋タンパク質合成の増加が似たような結果になる (Drummond et al, 2008) と報告しており、加齢に伴う筋量の減少を防いだり、サルコペニアの予防に効果的であるとも報告している。

(b.) 運動後の筋疲労の回復・筋肉痛の軽減

運動後の筋疲労の回復や筋肉痛の軽減は、トレーニング効率を上げるため、スポーツをしている人々にとって非常に大切なことである。Nosaka と Paul は、2 種類の肘の屈筋のエンデュランスエクササイズによる筋肉痛と筋損傷に関する研究を行い、アミノ酸サプリメント（9 種類の必須アミノ酸と 3 種類の非必須アミノ酸）摂取とプラセボ摂取の影響を比較したところ、運動後 4 日間の筋肉痛の変化と筋損傷の指標（血漿クレアチンキナーゼ、アルドラーゼ、ミオグロビン、筋肉痛）は、アミノ酸摂取でプラセボ摂取より有意に低く、回復期の遅発性筋肉痛と筋損傷を弱めると証明している（Nosaka & Paul, 2006）。

Glyn と Michael は、12 名の男性に対して 100 回連続のドロップジャンプ運動を実施し、運動前後に BCAA あるいはプラセボを摂取させた結果、BCAA 群で筋肉痛を示す指標が減少し、レジスタンストレーニングからの回復が加速されることを明らかにした（Glyn & Michael, 2012）。

この分野における研究は、高強度運動をしているアスリートから、普段あまり運動をしない人を対象にした研究においても望ましい成果が報告されている。

②運動パフォーマンスでの有効性

(a.) 持久力向上や運動中の中枢性疲労の軽減

競技者にとって、自分のパフォーマンスを最大限に引き出せ、さらに、パフォー

マンスを維持・改善させることは非常に重要なことであり、競技成績に影響しうる。Ohtani と Maruyama は、7 年連続でジャパン・フットボールリーグ選手権で優勝したラグビーチームの選手 23 名を対象にして、アミノ酸混合物 1 日に 7.2g を 90 日間（6～8 月）経口摂取させ、実験前、実験後、実験 1 年後のフィジカルコンディションの自己評価と血液分析を行った。その結果、実験期間中の血液指標（ヘマトクリット値、ヘモグロビン濃度、血清鉄、総コレステロール量、LDL コレステロール）は有意に上昇したが、実験 1 年後には赤血球数が有意に減少しており、90 日間のアミノ酸混合物の摂取がフィジカルフィットネス（酸素運搬能力）に有益な結果を生むと報告している（Ohtani & Maruyama et al, 2001）。

また、Portier らは、32 時間耐久のセーリングレース中でのメンタル・フィジカルパフォーマンスに関する BCAA 効果を研究したところ、主観的運動強度や唾液コルチゾールなどがプラセボ群に比べて BCAA 群において有意に低く、セーリング中に高まる疲労（中枢性疲労）を改善しうると示唆している（Portier et al, 2008）。

このように、運動とアミノ酸を組み合わせることによって、運動パフォーマンスに好ましい影響をもたらすことが報告がされている。

③脂肪の燃焼

上記のように、アミノ酸の生理学的有効性が明らかになってきたが、現在では、“運動とともにアミノ酸を摂取すること

で体脂肪の燃焼が促進される”ことが期待されている。特に、ウェブ上などでは、アルギニン、アラニン、プロリン、リジンの4種類のアミノ酸が“脂肪燃焼アミノ酸”として記載されていることが多く、それを含んだダイエット用のアミノ酸がいくつか販売されているが、この4種のアミノ酸が脂肪燃焼アミノ酸とされた理由は明確ではない。他のアミノ酸に関しても、実際に脂肪燃焼に関連した研究は行われているが、有益な効果を確実に得られたものはほとんど存在していない。

Gualano らは、消耗運動で筋グリコーゲン枯渇をさせた7名の対象者の呼吸交換比 (RER)、血漿グルコース、遊離脂肪酸、血中ケトン体と乳酸を計測したところ、BCAA サプリメント群

(300mg/kg/day) がプラセボ (マルトデキストリン) 群よりも、運動中の耐疲労性を上昇させ、脂質酸化を高めたと報告している (Gualano et al, 2011)。さらに、Michishita らは、健康な過体重の人に運動前と運動後に4種のアミノ酸 (リジン、プロリン、アラニン、アルギニン) の混合物を与えて、共役リノール酸の併用による変化があるかどうかについて調査した。41名 ($23 \leq \text{BMI} \leq 30$) の対象者は3つの試験サプリメント (アミノ酸混合物 0.76g/day, 1.52g/day, アミノ酸混合物+共役リノール酸のうちのどれか1つを受け取って運動開始前30分と運動直後に試験飲料を摂取する実験を行った結果、12週間でウエストやヒップの円周などの指標がアミノ酸混合物+共役リノール酸で有意に減少し、こういったサプリメントの摂取が運動の脂質燃焼効果を高めう

ると示している (Michishita et al, 2010)。

このように確かにアミノ酸と脂肪燃焼の効果に関連した研究はある。しかし、前述の研究では、BCAA (300mg/kg/day) を摂取している。こう日本人の成人にとって1日に必要な量は体重1kgあたりバリン 18mg、ロイシン 36mg、イソロイシン 23mg (厚生労働省策定；日本人の食事摂取基準 2005年版) とされており、体重を60kg とすると1日に $4620\text{mg} = 4.62\text{g}$ であるが、研究では $18000\text{mg} = 18\text{g}$ 摂取していることになる。この量は、日本人にとっては摂りすぎであると考えられ、肝臓への負担がかかったり、体脂肪として蓄えられたり、ケトン血症になる可能性もある。また、BCAA 含有のドリンクはだいたい500mlあたりに2~4gを配合するのが標準であり、さらに食事でのタンパク質摂取を考えると、このアミノ酸量はさらに増えることになる。実際の日常生活を考えても、研究で扱う量を摂取することは考えにくい。後述の

Michishita らの研究では、摂取量に問題はないと考えられるが、脂肪燃焼アミノ酸 (リジン、アラニン、プロリン、アルギニン) に共役リノール酸を組み合わせたものであり、これまでに脂肪燃焼アミノ酸の研究で脂肪燃焼が促進されたとしている研究は見当たらないが、共役リノール酸での研究では体脂肪を減らしたという研究結果があることから、共役リノール酸の恩恵を受けているのではないかと考えられる。

このように、筋肉レベルや運動パフォーマンスへのアミノ酸の効果はいくつか

報告され、その結果は明確にされている。しかし、脂肪燃焼効果に関するアミノ酸の効果は曖昧であったり、非常に限定された状況下での場合でしか得られていないと考えられる。また、脂肪燃焼のメカニズムと個々のアミノ酸の生理作用をまとめている論文が少ないのが現状である。ここからは、脂肪についての解説と現状、脂肪燃焼のメカニズムを述べたのちに、個々のアミノ酸がどの部分で脂肪燃焼に関係しているかをまとめていく。

Ⅲ.脂肪

1.脂肪の役割

脂質には代表的なものとして中性脂肪、リン脂質、コレステロールなどがあり、1g 当たり約 9kcal のエネルギーを持ち、生体の重要な貯蔵エネルギーである。安静時のエネルギー必要量の半分は脂肪酸の酸化によって供給されている（臨床スポーツ医学編集委員会, 2009）。脂肪はエネルギー源として働くだけではなく、生体内では細胞膜や神経組織、ステロイドホルモン、胆汁酸、ビタミン D の材料になるなど、炭水化物やタンパク質に並ぶ身体を構成し機能させるための重要な栄養素の 1 つである。しかし、過剰に摂りすぎると身体内に脂肪が蓄積されていく。

2.脂肪の蓄積

体内での脂肪蓄積に関しては主に皮下脂肪と内臓脂肪があるが、前者では体温

の保持や外からの衝撃吸収などの役割も果たしており（東京大学身体運動科学研究室, 2009）、脂肪の全く無い状態では風邪をひいたりする。

さらなる弊害として、Nunez らは、2 型糖尿病やガン進行に関する炎症から脂肪細胞の影響を切り離したファットレス・マウスをガン実験で使用したところ、野生型のマウスよりもガン感受性が増加し、2 型糖尿病や炎症状態も同時に起きたことを報告している（Nunez et al, 2006）。このように、皮下脂肪は過剰にあることもいけないが、無いことによる害も報告されている。

しかし、近年では、食の欧米化による脂質（脂肪）摂取の増加と高度経済成長による自動車や鉄道の発達に伴う身体活動の低下、運動習慣の減退などの理由から皮下脂肪だけではなく内臓脂肪が蓄積され、肥満になる人や生活習慣病に罹患する人が増加し、健康に影響を及ぼしている。我が国の厚生労働省が発表した平成 23 年の国民健康・栄養調査では、20~60 歳代の男性での肥満者の割合が過去 11 年間で最高値となっており、40~60 歳代女性の肥満者の割合は過去 11 年間では減少傾向であるが、近年では微増、さらに 20 歳代女性の「やせ」もここ数年で減少している（図 2）。運動習慣のある者の割合に関しては男性・女性ともに上昇しているものの、年齢層では、若い人々の運動習慣の割合が低いことが顕著に表れている（図 3）。

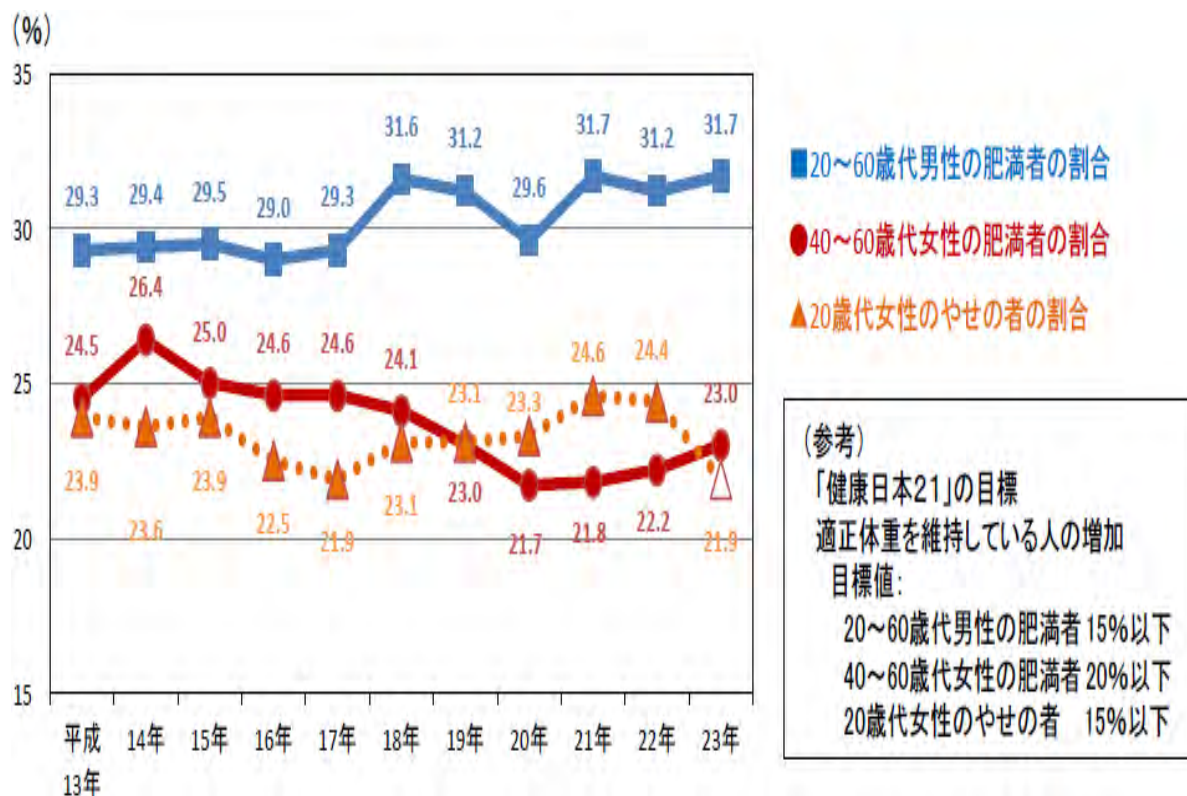


図2 肥満及び痩せの者の割合の年次推移（平成13～平成23年）
 （厚生労働省 平成23年国民健康・栄養調査より引用）

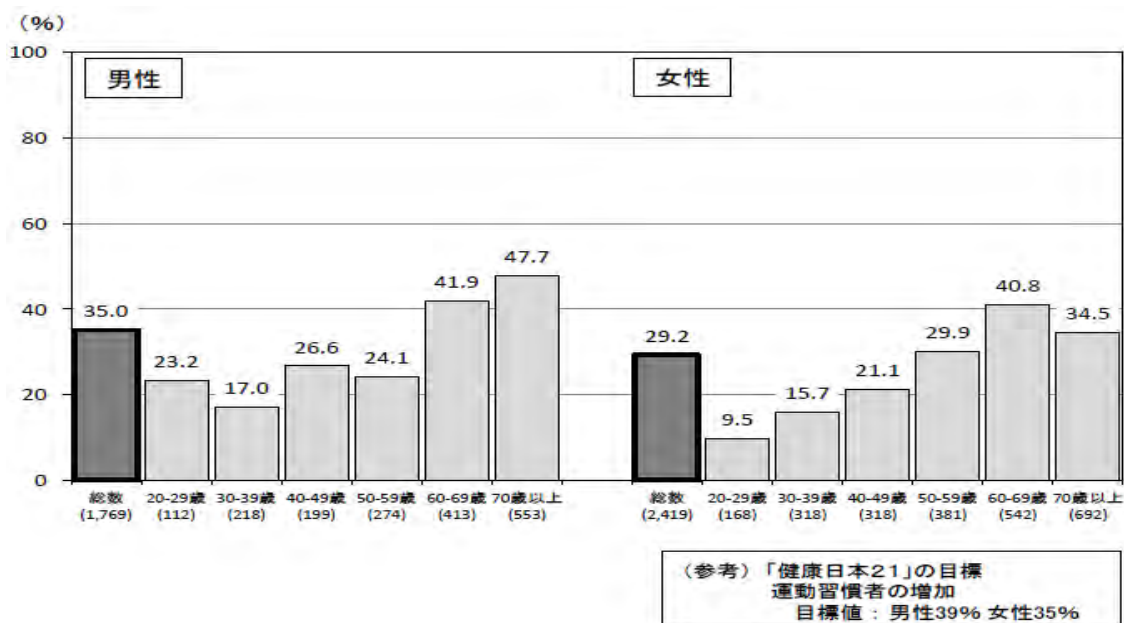


図3 運動習慣のある者の割合（性・年齢階級別）
 （厚生労働省 平成23年 国民健康・栄養調査より引用）

上記のように、食の欧米化による食事での脂質（脂肪）の摂りすぎと若い世代での運動不足が相まって、肥満の割合が増えている。これは、日本だけではなく世界的に問題となっており、Pérez は、1980 年～2008 年の 28 年間で世界での肥満の有病率は 2 倍になっていると示しており（Rodrigo, 2013）、2013 年 1 月 27 日に開催されたダボス会議では、現在の状況がこのまま続けば、今後の 20 年で肥満の人の数は世界の成人人口の 50～60% に達すると警鐘を鳴らしている。また、その会議では運動習慣についての研究結果が報告され、現在の米国人は 1967 年と比較して運動量が 32%減り、この傾向が続けば 2030 年までに運動量はさらに 50%減少するとし、中国人は半世紀で 45%も運動量が減少したと報告している（AFP BB News, 2013）。

3. 肥満の弊害

肥満が生活習慣病やメタボリックシンドローム（内臓脂肪型肥満に加えて、高血糖、高血圧、脂質異常のうちいずれか 2 つ以上をあわせもった状態）に影響していることはよく知られている。近年、糖尿病などの生活習慣病の有病者・予備群が増加しており、生活習慣病を原因とする死亡は、全体の約 3 分の 2 にものぼると推計される（厚生労働省, 2012）。また、厚生労働省の平成 20 年の国民健康・栄養調査結果によると、日本人においては成人男性の 22%、成人女性の 11%がメタボリックシンドロームに該当するとされている（厚生労働省, 2009）。この生活習慣病やメタボリックシンドロームを予防・

改善するために、国として「健康づくりのための身体活動基準 2013」、や「国民健康・栄養調査」などの施策を打ち出すなど、現在、体についての脂肪を減らすことは大人になってからの健康を維持するために重要であると考えられる。

ここまでは、肥満の現状や脂肪を燃焼させることが健康にとって大切なことであることを述べた。次は、燃やすべき脂肪が生体内でどのように代謝されているのかを説明していく。

4. 脂肪代謝の経路

脂肪は体内の白色脂肪細胞内に蓄えられる。肥満やメタボリックシンドロームなどに悩まされている人にとって、身体に蓄積された脂肪を燃焼することは非常に重要なことである。また、脂肪は 1g で約 9kcal のエネルギーを持つので、効率よく燃やすことはダイエットや肥満などの予防・解消だけに限らず、運動パフォーマンスの維持などにも貢献しうると考えられる。脂肪を燃焼するための代謝経路が体内にはあり、その代謝メカニズムは、1. 脂肪組織からの脂肪が分解されて、脂肪酸が動員され、2. β 酸化されて、クエン酸回路へ入っていくことが明らかにされている。ここからは、脂肪代謝のメカニズムについてまとめていく。

① 脂肪酸の動員

脂肪分解は、運動時に分泌されるカテコールアミン類（アドレナリン、ノルアドレナリン、ドーパミンなど）、成長ホルモンや IL-6(Interleukin)-6; インターロイキン）、空腹時はグルカゴンなどの様々なホルモンによって刺激されることから

始まる（石井, 2007）。これらのホルモンが、脂肪細胞のアドレナリン受容体（ β レセプター）に収まることで、サイクリック AMP 依存性のプロテイン・キナーゼ（A）が活性化されて、ホルモン感受性リパーゼの活性が促される。ホルモン感受性リパーゼは、脂肪細胞内のトリアシルグリセロール（TG）を脂肪酸とモノアシルグリセロールに分解する酵素であり、最終的にモノアシルグリセロール・リパーゼによってモノアシルグリセロールがグリセロールと脂肪酸に分解される。分解されたグリセロールは肝臓へ送られてそこで代謝され、脂肪酸は血液中に放出されてアルブミンと結合し、心臓や骨格筋などの組織に運ばれ、各組織のミトコンドリアで酸化され、エネルギーとして利用される。もしくは、インスリン依存性の Glut4 によって脂肪細胞内に取り入れられたグルコースから生成されたグリセロール 3-リン酸と再エステル化される。しかし、この回路はインスリンが必要となるため、インスリン欠如の状態では回路が働かず、各組織の呼吸燃料用に脂肪細胞から脂肪酸が放出される。また、ホルモン感受性リパーゼが活性化される時、同時にアセチル CoA カルボキシラーゼを阻害する（Salway & 麻生, 1994）。アセチル CoA カルボキシラーゼを阻害することは、脂肪酸の合成を阻害することになり、脂肪の蓄積を防ぐ役割も担っており、脂肪を分解するには、まず、これらのホルモンを刺激する必要がある。

② β 酸化とクエン酸回路

ホルモン感受性リパーゼによって分解

されてできたグリセロールは肝臓へ、脂肪酸は血液中のアルブミンと結合して心臓や骨格筋などの組織に運ばれ、運ばれた脂肪は、様々な組織の細胞内に取り込まれる。その組織内に取り込まれる速度は、脂肪酸の血中濃度に比例する。各組織の筋細胞に入った脂肪酸は、細胞内の長鎖アシル CoA シンテターゼによって活性化され、脂肪酸アシル CoA に変換されたのち、ミトコンドリア外膜を通過する。この脂肪酸アシル CoA が筋肉ミトコンドリア内膜を通過するためには、カルニチンと結合する必要があるため、CPT1（カルニチン-パルミトイル-トランスフェラーゼ）によってカルニチンが触媒され、脂肪酸アシル CoA とカルニチンが結合し、脂肪酸アシルカルニチンになる（Salway & 麻生, 1994）。脂肪酸アシルカルニチンは、アシルカルニチン/カルニチントランスポーターにより内膜を通過し、ミトコンドリア内膜に入る。そして、CPT2（カルニチンアシルトランスフェラーゼ 2）の触媒により、カルニチンからミトコンドリア内に存在する補酵素 A に転移されることで、脂肪酸アシル CoA が再生する。遊離のカルニチンはアシルカルニチン/カルニチントランスポーターを介して再び膜間スペースへと移動する（David & Nelson, 2007）。これをカルニチン・シャトルという。さらに、そこから、4 段階の反応を繰り返し（トランス- Δ^2 -エノイル CoA $\rightarrow$ L-3 ヒドロキシアシル CoA $\rightarrow$ 3-ケトアシル CoA $\rightarrow$ アセチル CoA）、生成されたアセチル CoA が TCA 回路などに入りさらに酸化されて、脂肪が燃焼されていく（Salway & 麻生, 1994）。

このようなメカニズムで脂肪代謝は行われるが、安静時ではこの代謝は強く刺激されない。では、体脂肪を燃焼させるためには、どんなことが必要となるのか。以下に、それをまとめる。

IV.脂肪燃焼の方法

体脂肪を燃焼させるにはどんな方法があるのか。体脂肪を燃焼させるためには2つの方法がある。それは主に 1.食事制限、2.運動によるものである。

1.食事制限

食事で摂るカロリーや栄養素を制限したり、断食をすることによって、体重とともに体脂肪を落とすような、女性のダイエットなどによく見られる方法である。最も短期で体重と体脂肪も落ちるとされている。しかし、ある程度で効果が表れにくくなるだけでなく、栄養バランスが悪いために体調を崩したり、筋肉のタンパク質平衡が負に傾いて筋肉量が減少する。さらに、リバウンドをしてしまい体脂肪量が増えるという危険性がある。健康に痩せる、そして、上手く痩せることはできず、一時的に脂肪を落とす方法である。

2.運動

一般的に、脂肪を燃焼させる運動は有酸素運動とされている。しかし、近年の研究では筋力トレーニング（以下、筋トレ）などのレジスタンス運動においても脂肪が燃焼されると報告している研究もある。ここからは、運動様式とその効果を

を記していく。

①レジスタンス運動

筋肉への強い刺激によってアドレナリンなどのカテコールアミンや成長ホルモンなどが分泌され、脂肪細胞を刺激する。さらに、筋タンパク質合成も刺激され、筋肉量が増加する。筋肉量が増加することで体脂肪が減少するとともに、安静時代謝や基礎代謝が上がり、脂肪が蓄積されにくい身体に変化していく。

しかし、高強度のレジスタンストレーニングは動脈のスティッフネス（硬化度）を増加させるとされている。実際に、岡本らは、1年以上運動を中断し、これまでにレジスタンストレーニング経験のない健康な成人男性および女性 30 名を対象に、最大拳上重量（1RM）の 80% 負荷で上肢と下肢のレジスタンストレーニングを課する実験を行ったところ、上肢群において血漿ノルエピネフリン濃度と baPWV（上腕下肢部脈派伝播速度）がトレーニング前と比較して有意に増加し、動脈スティッフネスの増加が促進される可能性があることが示唆されている（岡本ら, 2008）。

また、Laurent らは、この動脈のスティッフネスは心血管罹患率や心血管脂肪率の危険因子になると指摘している

（Laurent et al, 2001）。さらに近年では、筋肉の血流を適切に制限した状態で軽い負荷で少量のトレーニングによって筋肥大効果があるという「加圧トレーニング」（石井, 2007）や、ゆっくりと動作を行うことで筋肉に負荷をかけ、筋肥大・筋力増強の効果が得られるスロートレーニン

グなどが定番になってきているが、どちらもレジスタンス運動の代表と言えるであろう。

②有酸素（エアロビック）運動

体脂肪を減らす際の運動として一般的に用いられているのはジョギングやウォーキングなどの有酸素運動である。脂肪を燃やすために行われる有酸素運動は最大酸素摂取量の40～60%の強度で行うことが良いとされている。近年のいくつかの研究では、体脂肪の燃焼に良いとされている他に、Katharine らによって、老若問わず、中心動脈と抹消動脈のスティッフネスを減少させるという報告がされている（Katharine et al, 2009）。また、心肺機能を高めるなどの効果があるなど、効果は様々であるが、レジスタンス運動ほどカテコールアミン類や成長ホルモンが刺激されないため、20～30分、あるいはそれ以上の長時間の運動を続ける必要がある。

③コンバインドトレーニング

レジスタンス運動と有酸素運動を併用して、お互いの良い点を取った方法として、最近になって注目され始めたトレーニング法である。レジスタンス運動によって脂肪細胞を刺激する様々なホルモンを分泌させ、脂肪細胞を刺激した後、血中に遊離した脂肪酸を有酸素運動によって消費することで、脂肪を燃やしていくという方法である。

Goto らは、①60分間のエアロビック運動（50%最大酸素摂取量）だけのEタイプ、②30分間のレジスタンストレーニング

（10RM強度）の20分後に①と同じ運動を行うRE20タイプ、③同じレジスタンストレーニングの120分後に同じエアロビック運動を行うRE120タイプの3通りのプログラムの効果を調べた結果、エアロビック運動中の血中遊離脂肪酸

（FFA）濃度が $RE120 = RE20 > E$ 、血中グリセロール濃度は $RE20 > RE120 > E$ 、呼吸交換比の脂質代謝量が $RE20 > RE120 > E$ になったと明らかにしている（Goto et al, 2007）。

さらに、Okamoto らは、コンバインドトレーニングにおけるレジスタンストレーニング後前後の有酸素運動が脈管機能に及ぼす影響について研究を行った結果、脈管機能を向上させただけでなく、最大挙上重量を増加させたと報告している（Okamoto et al, 2007）。

ここまで、運動の種類とその効果を見てきた。目的ごとに、どの運動が効果があるのかじっくりと考慮しなければならない。運動とともに脂肪の燃焼を目的とするのであれば、コンバインドトレーニングが最も理に適っているのではないかと考えられる。また、運動前後や運動中に、アミノ酸を摂取することが多い。前述したように、アミノ酸を摂ることで、様々な生理作用が得られている。そこで、ここからは現在の個々のアミノ酸と脂肪燃焼に関わる先行研究とその可能性についてまとめていく。

V.個々のアミノ酸の脂肪燃焼効果

1.BCAA（分岐鎖アミノ酸：バリン、ロイ

シン、イソロイシン)

先述したように、BCAAの研究は数多く行われており、特に筋肥大や筋回復を早める目的に関する研究が中心である。これらの研究結果として、体脂肪が減少し、体脂肪率が上がったとの報告がされているが、筋トレを継続的に行うこととBCAAの効果、つまり、筋トレをして筋タンパク質が分解されるが筋損傷からの回復を早める効果によって筋トレの頻度が上がることで、筋肉量が増加するとともに、徐々に体脂肪率が減少していくと考えられる。確かに、体脂肪は減っているが、直接的にアミノ酸 (BCAA) が脂肪燃焼に関係しているとは考えにくい。

2. アルギニン

Ghigo らは、アルギニンは成長ホルモンの分泌促進物質として知られ、メカニズムははっきりとはしていないが、インシュリンや成長ホルモンなどの成長や代謝に含まれるホルモン分泌を刺激すると同時に、成長ホルモン分泌抑制ホルモンの放出を抑えると明らかにした (Ghigo et al, 1990)。

さらに、アルギニンの食事での制限は成長遅滞をもたらすなどの、栄養や生理学において重要な役割を担っている

(Olinto et al, 2012)。また、内分泌系に対する作用だけではなく、循環器系の生理機能調節作用、降アンモニア作用についての研究も多くなされている。このようにアルギニンは、多くの生理作用を持っているようである。特に、脂肪燃焼を考慮した場合、アルギニンの成長ホルモン分泌促進効果は、脂肪の燃焼に貢献し

うると考えられる。

3. リジン/メチオニン

① リジン

必須アミノ酸の1つであり、食の主要産物として穀類に依存している人々にとっては、リジンは制限アミノ酸であるという重要性を併せ持っている (Papes et al, 2001)。また、リジンの肝臓に対する効果は研究されている。Anaya-Prado らは、アルギニンと一緒にリジンを摂取した肝臓に障害を抱えたラットの肝臓炎症関連物質 IL-1 α や IL- β などが、低下したことから、リジンには肝臓保護効果があると明らかにしている (Anaya-Prado et al, 2003)。さらに、Ayala らは、皮膚単純疱疹ウイルス (HSV) に感染させたモルモットに、L-リジンを摂取させたところ、臨床的に通常であり、ヘルペス後におこる後根神経節 (DRG) 感染症から回復したことから、ヘルペスウイルス作用を持つと示唆されている (Ayala et al, 1989)。

② メチオニン

アミノ酸はもともとアミノ基などの形で窒素 (N) を含むのが特徴の一つであるが、このメチオニンはそれに加えて硫黄 (S) を含んだアミノ酸で、含流アミノ酸と呼ばれる必須アミノ酸である。この含流アミノ酸は欠乏も過剰もともに強く表れるという特徴を持っている (矢ヶ崎ら, 2007)。メチオニンの生理作用としては、肝臓や腎臓に関する作用がよく知られている。Parlesak らは、アルコールを与え続けて肝臓障害を引き起こしたラットに、

12 週間メチオニンを 1kg 当たり 0mg、30mg、120mg の 3 群に分けて摂取させ続けた結果、用量依存で肝臓中のトリグリセリドの量が減少したと報告している (Parlesak et al, 1998)。さらに、毛髪などの健康に役立つ (Cheng et al, 2009) とされている。

しかし、この必須アミノ酸である L-リジンの炭素骨格をもとに、トリメチル化剤として機能する L-メチオニンとを原料として、L-カルニチンが生成される。この生成された L-カルニチンは、遊離脂肪酸が骨格筋のミトコンドリア内膜を通過する際に必要となり、脂肪酸はカルニチンを利用してミトコンドリア内部に侵入することが出来るようになる。これは、カルニチン・シャトルと呼ばれ、脂肪酸の代謝に役買っていることから、リジンとメチオニンは脂肪燃焼に貢献するアミノ酸であると考えられる。

4. フェニルアラニン/チロシン

フェニルアラニンは人の体内では合成することが出来ない、必須あるいは不可欠アミノ酸であり、チロシンはフェニルアラニンのヒドロキシル化によって合成されるので、準必須アミノ酸、あるいは条件的不可欠アミノ酸とも呼ばれる

(Kopple et al, 2007)。フェニルアラニンは肝臓でチロシンに変換されることはよく知られているが、近年では、Boirie らが、肝臓だけでなく腎臓からもチロシンが産出されると報告している (Boirie et al, 2004)。

また、Fernstrom らは、フェニルアラニンとチロシンはともに芳香族アミノ酸

であり、タンパク質の構成要素としてだけではなく、脳内において、モノアミン神経伝達物質のセロトニンやカテコールアミン [ドーパミン (DA)、ノルアドレナリン (NE)、アドレナリン] の前駆体としての機能を持っていると明らかにし (Fernstrom et al, 2007)、永津らは、生体内で L-フェニルアラニン→L-チロシン→ドーパ→ドーパミン→ノルアドレナリン→アドレナリンと変化していくと説明している (永津ら, 1975)。

Birkmayer らは、これら 2 種類のアミノ酸はカテコールアミンの前駆体であるため、フェニルアラニンは抗うつ作用として働くと示唆している (Birkmayer et al, 1984) など、数多くの臨床作用が報告されている。さらに、Tumilty らは、チロシンのサプリメント摂取が、暑熱下で運動能力を改善する (Tumilty et al, 2011) ことを報告しており、運動時の生理作用にも貢献していると考えられる。さらに、ノルアドレナリン、アドレナリンなどのカテコールアミン類は脂肪細胞を刺激するので、フェニルアラニンとチロシンは脂肪を燃やすために貢献するアミノ酸であると考えられる。

5. プロリン/アラニン

この 2 種類のアミノ酸は、ともに体内でエネルギー源となる糖の産生に関与する糖原性アミノ酸であり、非必須アミノ酸である。

① プロリン

プロリンはイミノ酸でもあるが、体タンパク質のおよそ 30%を構成する構造タンパク質のコラーゲン内のアミノ酸の

1/3 を構成しており (Thangavel et al, 2013)、主に皮膚や筋肉、靱帯や骨などのコラーゲンの原料となり、ゼラチンなどに多く含まれる。このような性質から、美肌効果や加齢に関連する関節痛に対する効果が期待されている。さらに、即効性のエネルギー源であり、運動時に利用することが出来る。

②アラニン

アラニンはエネルギー源として利用されやすいアミノ酸であり、糖新生や肝臓において重要な役割を担っている。特に、肝臓においての研究は数多くなされている。Mawatari らは、アルコールに加えてアラニンとグルタミンの単回投与群とアルコールのみの投与群に分けたラットの自発運動量を測定したところ、アラニンとグルタミンを加えた群の方が早期に自発運動が改善したことを明らかにしている。(Mawatari, et al, 2002)。また、Tanaka らは、アルコールを長期間投与し、肝臓障害を誘発したラットに対し、アラニンとグルタミンを与えた結果、肝障害の肝再生の指標となるポリアミン代謝が改善されることを明らかにしている

(Tanaka et al, 1994) など、肝機能に関しての効果がよく報告されている。

このように、プロリンはコラーゲンに多く含まれ、アラニンはグルコースに転換されやすいアミノ酸として知られている。しかし、前述したように、この 2 種類のアミノ酸が“脂肪燃焼アミノ酸”として紹介されている根拠はなく、調査をする必要がある。もし、脂肪燃焼を促進する可能性があるとするならば、アラニン

がピルビン酸に変換され、クエン酸回路の活動を活発にすることが考えられる。

このように、運動とアミノ酸それぞれの脂肪燃焼に関係する先行研究をまとめてみると、運動による脂肪燃焼効果自体は明確なものと言える。一方、アミノ酸の脂肪燃焼効果においては曖昧な部分があるが、脂肪燃焼に効果がありそうなアミノ酸はいくつかあると言えよう。

さらに、運動とアミノ酸を組み合わせた先行研究では、ポジティブな結果を得られていないだけでなく、アミノ酸の組成において、あまりオリジナリティがないように考えられる。また、コンバインドトレーニングに関する研究は為されているが、コンバインドトレーニングとアミノ酸による脂肪燃焼効果を実験した研究は報告されていない。

そこで今後は、脂肪燃焼に関わると予想できるアミノ酸を混合物として運動前に摂取し、その後にコンバインドトレーニングを課して、トレーニング中の生体にどれくらいの脂肪燃焼効果を及ぼすのかについて検討するような研究が望まれるのである。

参考文献

- 1) Abe T, Inamori M, Iida K, Tamura M, Takiguchi Y, Yasuda K. : The Activation of Fatty Acid Metabolism by Vespa Amino Acid Mixture (VAAM) and Perated Nutrients during Endurance Exercise in Mice.

- Adv Exerc Sports Physiol. 3 (1) : 35-44, 1997
- 2) AFP BB News : 【肥満は世界的な「流行病」、ダボス会議で専門家が警鐘】
<http://www.afpbb.com/articles/-/2923877?pid=10177920> (2013 / 8 / 27 アクセス)
 - 3) Anaya-Prado R, Toledo-Pereyra LH, Guo RF, Reuben J, Ward PA, Walsh J : The attenuation of hemorrhage-induced liver injury by exogenous nitric oxide, L-arginine, and inhibition of inducible nitric oxide synthase. *J Invest Surg.* 16(5) : 247-261, 2003
 - 4) Ayala E, Krikorian D : Effect of L-lysine monohydrochloride on cutaneous herpes simplex virus in the guinea pig. *J Med Virol.* 28(1) : 16-20, 1989
 - 5) Biolo G, Tipton KD, Klein S, Wolfe RR : An abundant supply of amino acids enhances the metabolic effect of exercise on muscle protein. *American Journal of Physiology.* 273 : E122-E129, 1997
 - 6) Birkmayer W, Riederer P, Linauer W, Knoll J : J Neural Transm. L-deprenyl plus L-phenylalanine in the treatment of depression. 59(1) : 81-87, 1984
 - 7) Boirie Y, Albright R, Bigelow M, Nair KS : Impairment of phenylalanine conversion to tyrosine in end-stage renal disease causing tyrosine deficiency. *Kidney Int.* 66(2) : 591-596, 2004
 - 8) Børsheim E, Tipton KD, Wolf SE, Wolfe RR. : Essential amino acids and muscle protein recovery from resistance exercise. *American Journal of Physiology*, 283, E648-E657. 2002
 - 9) Cheng S, Stone J, de Berker D : Trichothiodystrophy and fragile hair: the distinction between diagnostic signs and diagnostic labels in childhood hair disease. *Br J Dermatol.* 161(6) : 1379-1383, 2009
 - 10) David L. N, Michael M. C, 山科郁男 監修、川寄敏祐ほか 編 : レーニンジャーの新生化学 [下] - 第4版 - . 廣川書店, pp897-912, 2007
 - 11) Dillon K. Walker, Jared M. Dickinson, Kyle L. Timmerman, Micah J. Drummond, Paul T. Reidy, Christopher S. Fry, David M. Gundersen, Blake B. Rasmussen : Exercise, Amino Acids and Aging in the Control of Human Muscle Protein Synthesis. *Med Sci Sports Exerc.* 43(12) : 2249-2258, 2011
 - 12) Drummond MJ, Dreyer HC, Pennings B, Fry CS, Dhanani S, Dillon EL, Sheffield-Moore M, Volpi E, Rasmussen BB : Skeletal muscle protein anabolic response to resistance exercise and essential amino acids is delayed with aging. *J Appl Physiol.* 104(5) : 1452-1461,

- 2008
- 13) Fernstrom JD, Fernstrom MH. : Tyrosine, phenylalanine, and catecholamine synthesis and function in the brain. *J Nutr.* 137 : 1539-1547, 2007
 - 14) Ghigo E, Bellone J, Mazza E, Imperiale E, Procopio M, Valente F, et al. : Arginine potentiates the GHRH- but not the pyridostigmine-induced GH secretion in normal short children. Further evidence for a somatostatin suppressing effect of arginine. *Clin Endocrinol*, 32: 763-767, 1990
 - 15) Glyn H, Michael H : Exercise-induced muscle damage is reduced in resistance-trained males by branched chain amino acids: a randomized, double-blind, placebo controlled study. *J Int Soc Sports Nutr.* 9(20), 2012
 - 16) Goto K, Ishii N, Mizuno A, Takamatsu K : Enhancement of fat metabolism by repeated bouts of moderate endurance exercise. *J Appl Physiol.* 102 : 2158-2164, 2007
 - 17) Gualano AB, Bozza T, Lopes De Campos P, Roschel H, Dos Santos Costa A, Luiz Marquezi M, Benatti F, Herbert Lancha Junior A : Branched-chain amino acids supplementation enhances exercise capacity and lipid oxidation during endurance exercise after muscle glycogen depletion. *J Sports Med Phys Fitness.* 51(1) : 82-88, 2011
 - 18) Hishikawa K, et al : Role of L-arginine oxide pathway in hypertention. *J Hypertension* . 11 : 639, 1993
 - 19) 石井直方著 : 究極のトレーニングー最新スポーツ生理学と効率的カラダづくり, 講談社, 2007
 - 20) J. G. Salway, 麻生芳郎 : 一目でわかる代謝学: 栄養素メタボリズムの基礎知識. pp64-67, メディカル・サイエンス・インターナショナル, 東京 1994
 - 21) 株式会社日本能率協会総合研究所 マーケティング・データ・バンク : 「健康ニーズ基本調査 2004」 結果の速報ー今年の悩みは「運動不足」、注目栄養素は「大豆イソフラボン」ー, 2004
 - 22) 門脇基二、鳥居邦夫、高橋迪雄 監修: アミノ酸の科学と最新応用技術, シーエムシー出版, 2008
 - 23) Katharine D. Currie, Scott G. Thomas, Jack M. Goodman : Effects of short-term endurance exercise training on vascular function in young males . *Eur J Appl Physiol* . 107 : 211-218, 2009
 - 24) Kopple JD : Phenylalanine and tyrosine metabolism in chronic kidney failure. *Source. J Nutr.* 137 : 1586-1590, 2007
 - 25) 厚生労働省: 平成 20 年国民健康・栄養調査結果の概要. 2009.
(<http://www.mhlw.go.jp/houdou/2009/11/dl/h1109-1b.pdf>) (2013/9/3 アクセス)
 - 26) 厚生労働省: 平成 23 年 国民健康・

- 栄養調査結果の概要. 2013.
<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000002q1st-att/2r9852000002q1wo.pdf>) (2013 / 9 / 3 アクセス)
- 27) 厚生労働省: 平成 24 年 (2012) 人口動態統計 (確定数) の概況, 2012
http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/kakutei12/dl/10_h6.pdf)
- 28) Laurent S, Boutouyrie P, Asmar R, Gautier I, Laloux B, Guize L, Ducimetiere P, Benetos A : Aortic stiffness is an independent predictor of all-cause and cardiovascular mortality in hypertensive patients. *Hypertension*. 37 : 1236-1241, 2001
- 29) Mawatari K, et al : Amelioration of oral intake both alanine and glutamine on ethanol metabolism and motor activity in rats after acute ethanol loading. The 10th congress of the international society for biological research on alcoholism. 2000. *Alcohol Clin Exp Res*. 24(5) : 215, 2000
- 30) Michishita T, Kobayashi S, Katsuya T, Ogihara T, Kawabuchi K : Evaluation of Antiobesity Effects of Amino Acid Mixture and Conjugated Linoleic Acid on Exercising Healthy Overweight Humans: a Randomized, Double-blind, Placebo-controlled Trial. *J Int Med Res*. 38(3) : 844-859, 2010
- 31) 水野 康・勝野勝己・森下幸治・阿部 岳 : スズメバチ幼虫分泌アミノ酸混合物摂取の運動時代謝に及ぼす影響, *体力科学* 44(6), 853, 1995
- 32) 永津 俊治・加藤 武 : カテコールアミン・インドールアミンの生合成と代謝. *臨床科学*. 4(2) : 115-123, 1975
- 33) Nosaka K, Paul S : Effect of Amino Acid Supplementation on Muscle Soreness and Damage. *International Journal of Sports Nutrition and Exercise Metabolism*. 16 : 620-635, 2006
- 34) Nunez NP, Oh WJ, Rozenberg J, Perella C, Anver M, Barrett JC, Perkins SN, Berrigan D, Moitra J, Varticovski L, Hursting SD, Vinson C : Accelerated tumor formation in a fatless mouse with type 2 diabetes and inflammation. *Cancer Res*. 66(10) : 5469-5476, 2006
- 35) Okamoto T, Masuhara M, Ikuta K : Combined aerobic and resistance training and vascular function : effect of exercise before and after resistance training. *J Appl Physiol* 103, 1655-61, 2007
- 36) 岡本孝信、増原光彦、生田香明 : 上肢レジスタンストレーニングは動脈ステIFFネスの増加を促進する(会議録). *体力科学*. 57(6) : 707, 2008
- 37) Ohtani M, Maruyama K : Amino acid supplementation Affects Hematological and Biochemical Parameters in Elite Rugby Players.

- Biosci Biotechnol Biochem. 65(9) : 1970-1976, 2001
- 38) Olinto SC, Adrião MG, Castro-Barbosa T, Goulart-Silva F, Nunes MT : Arginine induces GH gene expression by activating NOS/NO signaling in rat isolated hemi-pituitaries. *Braz J Med Biol Res.* 45(11) : 1066-1073, 2012
- 39) Papes F, Surpili MJ, Langone F, Trigo JR, Arruda P : The essential amino acid lysine acts as precursor of glutamate in the mammalian central nervous system. *FEBS Lett.* 488 : 34-38, 2001
- 40) Parlesak A, Bode C, Bode JC : Free methionine supplementation limits alcohol-induced liver damage in rats. *Alcohol Clin Exp Res.* 22(2) : 352-8, 1998
- 41) Phillips SM, Tipton DK : Mixed muscle protein synthesis and breakdown after resistance exercise in humans. *American Journal of Physiology.* 273 : E99-107, 1997
- 42) Portier H, Chatard JC, Filair E, Jaunet-Devienne MF, Robert A, Guezennec CY : Effect of branched-chain amino acids supplementation on physiological and psychological performance during an offshore sailing race. *Eur J Appl Physiol.* 104(5) : 787-794, 2008
- 43) 臨床スポーツ医学編集委員会編 : 臨床スポーツ医学 スポーツ栄養食事ガイド 競技力向上とコンディショニングのためのスポーツ栄養学, pp29-43, 文光堂, 2009, Vol.26 臨時増刊号
- 44) Rodrigo P C : Current mapping of obesity. *Nutr Hosp.* 28 Suppl 5 : 21-31, 2013
- 45) Tanaka T, Imano M, Yamashita T, Monna T, Nishiguchi S, Kuroki T, Otani S, Maezono K, Mawatari K : Effect of combined alanine and glutamine administration on the inhibition of liver regeneration caused by long-term administration of alcohol. *Alcohol Suppl.* 29(1) : 125-32, 1994
- 46) Thangavel P, Sankar J, Arulanandham , Karuppanan N.M, Moorthy G, Kuttalam I, Lonchin S : Efficacy of l-proline administration on the early responses during cutaneous wound healing in rats. *Amino Acids.* 45(1) : 179-189, 2013
- 47) Tipton KD, Wolfe RR. : Protein and amino acids for athletes. *J Sports Sci.* ,22(1) : 65-79, 2004
- 48) 東京大学身体運動科学研究室編 : 教養としての身体運動・健康科学, P49, 東京大学出版会,2009
- 49) Tumilty L, Davison G, Beckmann M, Thatcher R : Oral tyrosine supplementation improves exercise capacity in the heat. *Eur J Appl Physiol.* 111(12) : 2941-50, 2011
- 50) van Loon LJ, Kies AK, Saris WH : Protein and protein hydrolysates in

- sports nutrition. Int J Sport Nutr Exerc Metab.17 Suppl: S1-4, 2007
- 51) Walker DK, Dickinson JM, Timmerman KL, Drummond MJ, Reidy PT, Fry CS, Gundermann DM, Rasmussen BB : Exercise, amino acids, and aging in the control of human muscle protein synthesis. Med Sci Sports Exerc. 43(12) : 2249-2258, 2011
- 52) メルビン・ウィリアムス著 樋口 満
監訳 杉浦克己・奈良典子・山口英裕
訳 : スポーツ・エルゴジェニック
限界突破のための栄養・サプリメント
戦略. PP21-31, 大修館書店, 2000
- 53) 矢ヶ崎一三、門脇基二、舩重正一、横
越英彦ほか編 : アミノ酸の機能特性
ーライフサイエンスにおける新しい
波ー, 建帛社, 2007