

食事摂取とエネルギー代謝
ダイエット成功のために

Food ingestion and energy metabolism
For a loss in weight

玉木 啓一
Keiichi Tamaki

Abstract

It was investigated the influence on metabolism of food ingestion and after meal fasting. It was suggested following possibility.

1. Hunger may enhance lipid metabolism.
2. Food ingestion recover normal carbohydrate metabolism.
3. More than four hours fasting may begin gluconeogenesis.
4. A one exercise may enhance lipid metabolism.

Key words : diet, energy metabolism, fasting

I はじめに

健康の維持増進に、体重をコントロールすることは重要である^{1) 2)}。さらに、女子学生の8割以上は減量を望んでおり³⁾、多くの女性は、美容目的での体重コントロールに興味を持っている。そのため体重コントロール（いわゆるダイエット）を試みる者は多い。しかし目標を達成できずに途中で挫折する者も多いのが現状である。ダイエットがうまくいかない理由のひとつに、食事制限と体重の変化が実施者の意思どおりに運ばないことがある。つまり、「食べていないのに痩せない」状態である。体重の増減は、食物の摂取量（エネルギー量）だけではなく、食物摂取の時刻や間隔の影響も考えられる。

ヒトの体内で起こるエネルギー産生は、有酸素系とATP-PC系、乳酸系の3種類のエネルギー供給系に分類することができる⁴⁾。激しい運動中には無酸素系（ATP-PC系、乳酸系）のエネルギー供給が用いられるが、睡眠や安静時、低強度の運動などの定常状態時のエネルギーは有酸素系で供給されている。

有酸素系のエネルギー産生は、三大栄養素（糖質、脂質、たんぱく質）の酸化によって起こる^{4) 5) 6)}。体重コントロールでは、体脂肪を減少させることが主目的となるが、体脂肪を減少させるためには、エネルギー源として脂質を分解することが重要である。

有酸素系のエネルギー産生で通常の生命活動に

用いられるエネルギー源は、糖質と脂質である。たんぱく質は、細胞の新陳代謝のために分解されて一定割合のエネルギーを産生するが⁵⁾、生命活動のエネルギー源とは積極的に考えず、糖質と脂質を主なエネルギー源とすることが多い。エネルギー源は呼吸商から推定できる^{6) 7)}。消費される酸素と排出される二酸化炭素の比率から、呼吸商=1.0の時には、エネルギー源が全て糖質であり、呼吸商=0.7の時には脂質がエネルギーとして利用される。

飢餓状態のように食事を摂れない時のみ、たんぱく質を分解して生命維持のエネルギーに利用されるという考え方が一般的である。

本研究では、食物摂取後に体内で利用されるエネルギー源に着目しながらダイエットに有効な食物摂取について検討することを目的とした。

II 方法

1. 被験者

健康な成人男子1名（年齢 57歳、身長 170cm、体重 65kg）が実験に参加した。

2. 測定条件

12時間以上の絶食の後、食事前、食事直後、その後1時間間隔で6時間後まで、椅座位で測定を行った。測定は各7分間、合計8回行った。食事以外に、被験者は水のみを摂取した（自由摂取）。実験当日、

被験者は基本的に室内で椅子に座って過ごした。

被験者が測定に慣れるため、予備実験として同様の測定を数回実施した後、実験試行を行った。再現性を確認するため実験試行は3回実施した。

被験者は、運動習慣を有していたが、一過性の運動の影響を避けるため実験の一ヶ月前から運動は行わなかった。

3. 測定項目

測定項目は、胸部双極導出による心電図から心拍数を計測した。呼気ガス分析装置（AERO MONITOR A300S ミナト医科学）を用いて、酸素摂取量、呼吸商を測定した。呼気ガス分析装置は、前日から電源を入れ十分なエージングの後に、既知の濃度の2種類のガス（三種混合ガス：窒素、酸素、二酸化炭素および二種混合ガス：窒素、酸素）にて測定ごとに校正して精度を維持した。

各測定値は30秒間隔で7分間計測し、測定開始時の被験者の動揺の影響を避けるため後半の5分間の値を平均した。

III 結果

本研究で摂取した食事は、3試行全てで、軽めの弁当（糖質：72%）、味噌汁とヨーグルトドリンクであり、摂取エネルギーは平均で569（範囲：543～621）kcalであった。

表1 食事前後の心拍数の変化

試行	拍/分							
	食事前	直後	1時間後	2時間後	3時間後	4時間後	5時間後	6時間後
1回目	73	87	87	82	75	72	71	73
2回目	78	88	84	79	73	72	68	70
3回目	78	91	83	78	70	67	71	69
平均	76	89	85	80	73	70	70	71

表1に、食事前、食事直後、食後1～6時間後までの心拍数を示した。食事直後にピークに達し、2時間ほど高目を維持し3時間後には食前に戻り4時間後以降は安定した。食後1～6時間後の心拍数、酸素摂取量、呼吸商の平均値を図1に示した。

表2に、表1と同様の時間経過で体重当たりの酸素摂取量を示した。心拍数と同様に食事直後にピークに達したが、3時間ほど高値を維持しその後食事前レベルに戻った（図1）。

表2 食事前後の酸素摂取量の変化

試行	ml/分/kg							
	食事前	直後	1時間後	2時間後	3時間後	4時間後	5時間後	6時間後
1回目	3.3	3.9	3.7	3.6	3.6	3.3	3.3	3.6
2回目	3.3	4.0	4.0	4.0	3.7	3.5	3.3	3.5
3回目	3.2	3.9	3.8	3.8	3.3	3.0	3.2	3.2
平均	3.2	3.9	3.8	3.8	3.5	3.3	3.3	3.4

心拍数と酸素摂取量の食後の高値は、食事誘発性熱産生（DIT：Diet Induced Thermogenesis）によるものと考えられる。

表3 食事前後の呼吸商の変化

試行	呼吸商							
	食事前	直後	1時間後	2時間後	3時間後	4時間後	5時間後	6時間後
1回目	0.80	0.86	0.87	0.88	0.83	0.82	0.75	0.70
2回目	0.74	0.82	0.85	0.81	0.82	0.81	0.76	0.72
3回目	0.80	0.88	0.84	0.82	0.86	0.85	0.81	0.73
平均	0.78	0.86	0.85	0.84	0.83	0.83	0.77	0.72

表3に、呼吸商の変化を示した。本研究で摂取した食事が高糖質食であったため、食後から呼吸商は上昇し、糖質を利用する割合が増えたことを示している。呼吸商は4時間ほど高値を維持し、6時間後には0.7に近い値まで低下した（図1）。

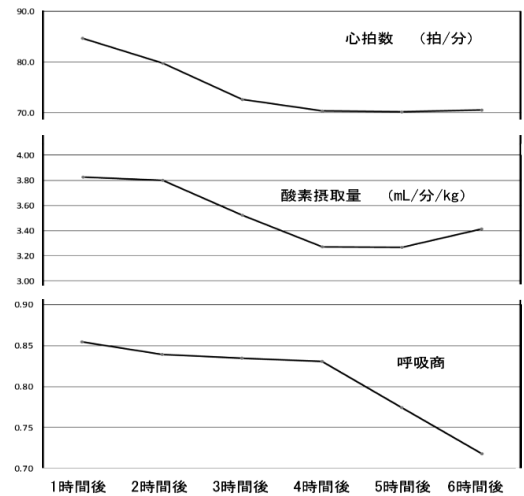


図1 心拍数、酸素摂取量、呼吸商の食事摂取後の経時的変化

IV 考察

食事摂取後にヒトが利用するエネルギー源および体内での代謝を検討するために本研究を行った。食事摂取後、直ぐに心拍数や酸素摂取量が上昇し食事誘発性熱産生（DIT）が起こっていたことがわかる（表1,2）。

インターネット等では、食事を抜くダイエット法がうまくいかない理由としてDITが無くなることをあげるウェブサイトも見られるが、DITによるエネルギー消費の量はわずかであり⁶⁾、この説明の妥当性は低いと考える。本研究の場合、4時間継続したDITによるエネルギー消費量の増加分は32kcal程度であり、食事で摂取したエネルギー量のわずか5%程度に過ぎない。食事を抜くダイエットを推奨

しないが、食事を抜くことで95%のエネルギーがマイナスとなる。

12時間以上の絶食後、食事を摂ることによって直後から4時間程、呼吸商は上昇した。呼吸商から、利用しているエネルギー源を推定できることは知られている^{7) 8)}。食事前の空腹時には、糖質を節約するために脂質代謝が亢進したため、日本人の呼吸商(0.8~0.85)⁹⁾に比較して0.78と低めであったが、食後から上昇し糖質代謝が活発になったことが推察できる(表3、図1)。糖質節約状態から通常状態へ戻ると考えてよい。5時間経過後から食事前の値に戻り、その後さらに低下し、6時間経過後には0.7に近い非常に低い値となった。呼吸商0.7は、エネルギー源のほとんどが脂質によるものと推察できる^{7) 8)}。ダイエットの目的が体脂肪の減少と考えると、脂質代謝が亢進して脂肪が燃焼することは歓迎すべきことであり、食べないこと(摂取エネルギーを制限すること)はダイエットの原則であることを支持している。

しかしながら、食後5時間以降にここまで呼吸商が低下することは、ダイエットに望ましいことと手放しで喜んでよいのか疑問が残る。糖質、たんぱく質の分解が抑制され、脂質のみの分解で生命維持がなされることは、脳が活動している覚醒時(睡眠時でも)考えにくい。脂質代謝亢進以外の原因も検討する必要があると考えられる。

代謝の状態の変化に原因を考える場合、糖質の分解が進んだのなら、呼吸商は上昇するはずであり、たんぱく質の酸化でも、分解時の呼吸商が0.8以上とする報告が多く^{8) 9)}たんぱく質の分解でも説明がつかない。考えられる原因の一つは、糖新生である。

糖新生⁸⁾は、ピルビン酸やアミノ酸からのブドウ糖やグリコーゲンの生成と考えてよい。ピルビン酸からの糖新生では、大部分分解糖系の逆行と考えてよく呼吸商への影響は少ないと思われるが、アミノ酸からの糖新生では、TCAサイクルでアミノ酸が分解されエネルギー生成に利用され、脱アミノ化された炭素骨格は糖新生経路へ入りピルビン酸からの糖新

生に利用される。

アミノ酸からの糖新生では、通常のATP生成とは異なる経路をとることから、呼吸商への影響が考えられる。糖新生が行われることが、本研究で観察された低い呼吸商を説明できるのかもしれない。

通常糖新生は、糖質、脂質が不足した状態(飢餓状態)に起こるとされている。アミノ酸からの糖新生では筋の分解が起こるとされており、数日にわたる食料不足はなくても、24時間以内の絶食または数時間に及ぶ空腹は、筋の分解開始のトリガーとなってしまうかもしれない。つまり、4~5時間以上の絶食は非常事態を意味する「飢餓スイッチ」をオンにしてしまう危険性があり、ダイエット法失敗の危険性を高めるものと考えられる。

図1を見ると、DITが終了したと思われる6時間後に酸素摂取量が上昇している。このことは代謝の状況に変化が見られたことを示唆するものと考えられる。実験当日の被験者は、どの時刻でも身体活動に変化が起こらないよう可能な限り安静にしており、活動による代謝の亢進が起こったとは考えにくい。

これ以外の原因として、被験者の精神的状態が考えられる。空腹感を感じることで、交感神経が昂ぶり代謝が亢進したことが考えられる。しかしながら、心拍数の変化はこの時間帯で観察されず、精神的な原因以外と考えることが出来るだろう。

本研究の結果は、運動の影響が出ないように1ヶ月の運動中断の後に実施した。ダイエットでは、食生活と運動習慣とを組み合わせることで実施することが望ましいので、追加で簡単な運動による影響も調べてみた。

前日に2時間の自転車運動(走行距離44.4km、平均心拍数154拍/分、運動強度83.9% of VO₂max)を実施して、本研究と同様の測定条件で測定した。

表4に運動実施翌日の、心拍数、酸素摂取量、呼吸商の値を示した。

図2に運動の有無による心拍数の経時的変化を示した。運動なしの場合は2時間以上継続して食事前より高い値が続いたが、運動翌日には、1時間後に

表4 運動翌日の食事前後の心拍数、酸素摂取量、呼吸商の変化

	食事前	直後	1時間後	2時間後	3時間後	4時間後	5時間後	6時間後
心拍数(拍/分)	72	76	71	68	65	65	63	62
酸素摂取量(mL/分/kg)	3.4	3.9	3.6	3.6	3.4	3.2	3.4	3.5
呼吸商	0.75	0.78	0.82	0.81	0.81	0.77	0.70	0.71

はほぼ食事前の値に戻っていた。また、測定時間全体にわたって低い心拍数であり、一度だけの運動でも、副交感神経の亢進、交感神経の緊張度の低下が起こったと考えられる。

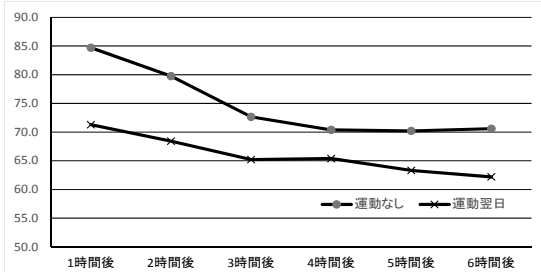


図2 運動による時間経過への影響

図3に示したように、酸素摂取量も食前に戻る時間が1時間程度早まっていた。また、心拍数の上昇なしでの酸素摂取増加も1時間程度早くなったように見受けられる。

図4に運動による呼吸商への影響を示した。ここでも、運動なしの場合に比較し1時間ほど早く呼吸商は非常に低い値に達し、その後その値を維持した。また、測定期間全体にわたりRQは低値を示し、運動なしの条件に比較して脂質代謝が促進され、体脂肪燃焼の可能性が示唆された。

一過性の運動によっても、運動による自律神経系の適応や、脂質代謝が向上するような結果が得られたが、1試行のみの検討であり再現性を含めた更なる検討が必要であろう。

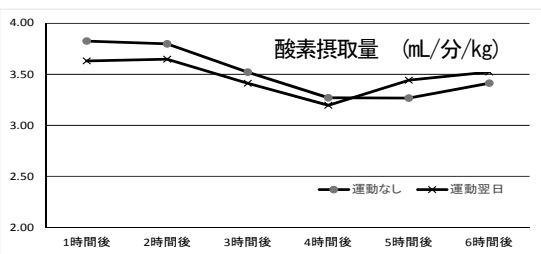


図3 運動による時間経過への影響

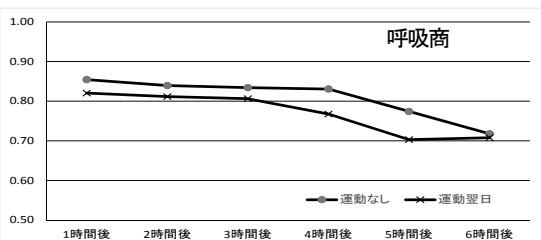


図4 運動による時間経過への影響

V まとめ

食事摂取後に、エネルギー代謝が経時的にどのような変化をするのかを検討し、ダイエットとの関連で考察を加えた結果、以下のことが推察された。

1. 空腹は、呼吸商を低下させ脂質代謝を向上させる。
2. 空腹時の食事摂取により、糖質の節約状態は解除される。
3. 4時間以上の絶食は、飢餓スイッチをオンにして筋の分解を開始させるかもしれない。
4. 1回の運動でも翌日の脂質代謝を高める可能性がある。

【参考文献】

- 1) 漆原光徳 (2013) 『大学ダイエット講義』 二見書房 pp.78-86
- 2) 大野誠, 池田義男: 肥満症につながるライフスタイル. からだの科学, 188 : 58-63 (1995)
- 3) 吉田精作, 福田祥子: 女子大生の減量意識と健康-運動意欲-. 武庫川女子大紀要, 57 : 39-46 (2009)
- 4) Edward L. Fox (1979) *Sports Physiology* : Press of W.B. Saunders Company (比奈一男、渡部和彦訳『選手とコーチのためのスポーツ生理学』 大修館書店、(1999) pp.184-185
- 5) Stefan Silvernagl and Agamemnon despopoulos (1979) *Taschenatlas der Physiologie*, Munchen : Thieme (福原武彦、入来正躬訳『生理学アトラス』 文光堂、(1989) pp.184-185
- 6) Per-Olof Åstrand and Kaare Rodahl (1970) *Textbook of Work Physiology* : McGraw-Hill (朝比奈一男、浅野勝己訳『運動生理学』 大修館書店、(1976) p331, pp.343-370
- 7) 中西光雄 (1975) 『体育生理学実験』 技術書院、(1999) pp.184-185
- 8) 石河利寛、杉浦正輝(共編) (1989) 『運動生理学』 建帛社 pp.113-118, pp.129-138
- 9) 中野昭一(編) (1987) 『図解生理学』 医学書院 p143, pp.253-255