

食事誘発性熱産生の算出方法の検討

緒形ひとみ*・麻見直美*・徳山薫平*

The Study of Calculation of Thermic Effect of Food in Healthy Humans

OGATA Hitomi*, OMI Naomi* and TOKUYAMA Kumpei*

1. 背景・目的

ヒトの1日のエネルギー消費量は「基礎代謝量 (basic metabolic rate; BMR)」「運動誘発性熱産生」「食事誘発性熱産生 (Thermic effect of food; TEF)」の3つの構成要素から成り立っている¹⁾。BMRは、1日のエネルギー消費量の平均6割程度と言われているが、実際には年齢や性別、体格によって大きく異なることが知られている²⁾。また、運動誘発性熱産生は、意識的な運動 (exercise) と無意識な活動 (non-exercise activity thermogenesis; NEAT) の2つに分けることができ³⁾、さらに運動によって増加した酸素消費量は運動後もしばらく続く (運動後過剰酸素消費量: excess post-exercise oxygen consumption; EPOC)⁴⁾ ことが知られている。TEFには、午後や夜間の大きさより午前の方が有意に高値を示すという日内変動があることが分かっている⁵⁾ が、この結果は通常の日常生活とは大きく異なる条件下で測定されたものであり、TEFの日内変動の評価としては適切でない可能性が高い。

TEFの大きさを求める方法としては、絶食と食べた時のエネルギー消費量を比較する Tataranni の方法⁶⁾ とエネルギー消費量と活動量の相関から、活動量が0のときのエネルギー消費量 (EE0) を求め、BMRもしくは睡眠時代謝量 (sleeping metabolic rate; SMR) を減算することにより TEFの大きさを求める Schutz の方法^{7,8)} がある。しかし、Tataranni の方法⁶⁾ で TEFを求めるためには、24時間の絶食試行が必要であり、また比較的簡易に TEFを求めることのできる Schutz の方法⁷⁾ では、理論的に考えるとマイナスになることのない TEFにマイナスの結果が得られるため、方法論として問題があることが指摘されている^{8,9)}。

本研究では、細かい体動も測定することが可能な

加速度計を用いて、TEFの計算にこれまでは考慮されてこなかった EPOC⁴⁾ の概念を組み込んだ TEFの算出方法を検討し、従来の方法と比較することを目的とした。

なお本研究は、現在学会誌に投稿準備中につき、概要のみを報告する。

2. 方法

2.1 被験者

20歳代の健常な男性7名 (年齢 24.7 ± 2.9 歳、body mass index 23.2 ± 2.8 kg/m²) を対象とした。

2.2 プロトコル

被験者は、朝食を摂取する試行 (three-meal) と摂取しない試行 (two-meal) の2試行を1週間のウォッシュアウト期間を設けて実施し、同一被験者の1日の摂取エネルギー量は等しくなるように調整した ($2,190 \pm 354$ kcal/日)。被験者には、実験前日から食事摂取基準¹⁰⁾ に基づいてエネルギー量を算出した規定食として提供し、2試行で同じ食事を摂取させた。被験者は、実験第1日目の夜から実験第3日目の朝まで合計33時間、間接熱量測定装置であるヒューマン・カロリーメーター内で過ごし、トイレ・食事・睡眠以外は座位安静に、決められたスケジュールに従って行動するよう指示した。また、加速度計を胸ポケットに装着し、体動の測定を同時に行った。

本研究は、筑波大学大学院人間総合科学研究科研究倫理委員会の承認を受け、また全ての被験者に研究の目的・手順を詳細に説明し、参加の同意を得て実施した。

* 筑波大学体育系
Faculty of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba

3. データ解析

3.1 エネルギー消費量の算出

ヒューマン・カロリメーター（FHC-15S、富士医科産業株式会社）によって測定された酸素と二酸化炭素の濃度変化より、deconvolutionの方法¹¹⁾を用いて酸素消費量と二酸化炭素産生量を算出し、その値を基に1分毎のエネルギー消費量をFerranniniの方法¹²⁾を用いて算出した。

3.2 身体活動量の算出

3軸加速度計（縦30×横80×高さ17mm、19g、株式会社タニタ）で得られたデジタル情報を基に、1分毎の合計加速度を算出し身体活動量とした。

3.3 TEFの算出

- ・ Tataranniの方法⁶⁾ (Δ EE) …朝食摂取試行のエネルギー消費量から朝食欠食のエネルギー消費量を減算した。
- ・ Schutzの方法^{7,8)} (EE0 above BMR および EE0 above SMR) …エネルギー消費量と活動量の相関から、活動量が0のときのエネルギー消費量 (EE0) を求め、BMR または SMR を減算した。
- ・ 活動量の積分を用いた方法 (EE free from NEAT above pre-meal EE) …活動量から体温を推定する方法¹³⁾を参考に、エネルギー消費量と積分した活動量の相関の中で相関の高い回帰式を作成し、NEATによるエネルギー消費量を減算した。活動量を補正した基礎代謝量との差分を TEF と定義

した。

4. 結果・考察

1日の総エネルギー消費量（朝食あり：1,865 ± 202 kcal/日、朝食なし：1,876 ± 179 kcal/日）および平均身体活動量（朝食あり：3,455 ± 487 counts/分、朝食なし：3,521 ± 469 counts/分）には2試行間に有意な差はなかった。

朝食の TEF および3食合計の TEF を算出した結果、Schutzの方法である EE0 above BMR においてマイナスの値が得られた (Table 1)。また朝食の TEF の大きさを比較した結果、4群間に有意差はつかなかったものの、 Δ EE に比べて EE0 above SMR は大きい傾向を示した ($P = 0.11$)。3食合計の TEF の大きさを比較した結果、EE0 above BMR、EE free from NEAT above pre-meal EE、EE0 above SMR という順に大きい値を示した。

SMR は BMR より低い値を示す¹⁴⁾ため、差分を用いて TEF の大きさを推定する Schutzの方法では大きい値となってしまうことが予想され、また今回の結果からも、TEF の推定に SMR を使うのは望ましくないとされる。我々が提案した加速度計の積分時間を考慮して TEF を求める方法は、1日絶食する必要もなく簡易的に TEF の大きさを推定する方法としては有効な方法かもしれない。

Table 1. Estimates of TEF by four calculation methods.

Condition	Three-meal	Two-meal
Breakfast TEF (% of breakfast energy content)		
Δ EE	5.4 ± 3.5 [1.6–12.7]	
EE0 above BMR	-0.6 ± 6.8 [-13.1–5.9]	
EE0 above SMR	9.8 ± 5.7 [0.3–19.1]	
EE free from NEAT above pre-meal EE	4.1 ± 2.5 [0.3–7.4]	
TEF during wakefulness* (% of daily energy intake)		
EE0 above BMR	2.6 ± 8.7 [-16.0–9.0]	3.0 ± 4.8 [-7.2–7.4] [‡]
EE0 above SMR	14.5 ± 2.5 [12.4–19.2]	9.5 ± 3.3 [3.0–13.2]
EE free from NEAT above pre-meal EE	6.8 ± 4.0 [0.6–11.9] [†]	7.7 ± 2.6 [3.4–11.5]

The data are expressed as the means ± SD [range]. TEF was expressed as % of energy intake during the measurement. * TEFs during wakefulness in the two-meal condition were assessed during 11 h (12:00–23:00). †‡ Mean values was significantly different from that of EE0 above SMR ($p < 0.05$), determined by 1-way ANOVA followed by a post hoc Bonferroni test.

5. 謝 辞

本研究の費用の一部は、平成 24 年度体育系研究プロジェクト支援経費によるものであり、ここに深く感謝いたします。

文 献

- 1) Levine, J.A., Eberhardt, N.L., and Jensen, M.D. 1999. Role of nonexercise activity thermogenesis in resistance to fat gain in humans. *Science* 283: 212–214.
- 2) Miyake R, Tanaka S, Ohkawara K, Ishikawa-Takata K, Hikiyama Y, Taguri E, Kayashita J, and Tabata I. 2011. Validity of predictive equations for basal metabolic rate in Japanese adults. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)* 57:224–232.
- 3) Levine, J.A. 2007. Nonexercise activity thermogenesis--liberating the life-force. *J Intern Med* 262: 273–287.
- 4) LaForgia, J., Withers, R.T., and Gore, C.J. 2006. Effects of exercise intensity and duration on the excess post-exercise oxygen consumption. *J Sports Sci* 24: 1247–1264.
- 5) Romon, M., Edme, J.L., Boulenguez, C., Lescroart, J.L., and Frimat, P. 1993. Circadian variation of diet-induced thermogenesis. *Am J Clin Nutr* 57: 476–480.
- 6) Tataranni, P.A., Larson, D.E., Snitker, S., and Ravussin, E. 1995. Thermic effect of food in humans: methods and results from use of a respiratory chamber. *Am J Clin Nutr* 61: 1013–1019.
- 7) Schutz, Y., Bessard, T., and Jéquier, E. 1984. Diet-induced thermogenesis measured over a whole day in obese and nonobese women. *Am J Clin Nutr* 40: 542–552.
- 8) Westerterp, K.R., Wilson, S.A., and Rolland, V. 1999. Diet induced thermogenesis measured over 24h in a respiration chamber: effect of diet composition. *Int J Obes Relat Metab Disord* 23: 287–292.
- 9) Ravussin, E., Lillioja, S., Anderson, T.E., Christin, L., and Bogardus, C. 1986. Determinants of 24-hour energy expenditure in man. Methods and results using a respiratory chamber. *J Clin Invest* 78: 1568–1578.
- 10) 厚生労働省「日本人の食事摂取基準」策定検討会報告書（2010）：日本人の食事摂取基準 [2010年版]。第一出版，東京
- 11) Tokuyama, K., Ogata, H., Katayose, Y., and Satoh, M. 2009. Algorithm for transient response of whole body indirect calorimeter: deconvolution with a regularization parameter. *J Appl Physiol* 106: 640–650.
- 12) Ferrannini, E. 1988. The theoretical bases of indirect calorimetry: a review. *Metabolism* 37: 287–301.
- 13) Weinert, D., and Waterhouse, J. 1998. Diurnally changing effects of locomotor activity on body temperature in laboratory mice. *Physiol Behav* 63: 837–843.
- 14) Levine JA. 2005. Measurement of energy expenditure. *Public Health Nutr* 8:1123–32.