

カロリー計による一日のエネルギー消費量の評価

—運動習慣を有する若年女性の場合—

文谷 知明, 星川 秀利

Estimation of daily energy expenditure by a calorie counter for active young women

Tomoaki BUNYA and Hidetoshi HOSHIKAWA

Abstract

The purpose of the present study was to investigate the validity of a calorie counter (Kenz Calorie Counter Select 2) for estimation of daily energy expenditure. The daily energy expenditure values by the calorie counter were compared with the values of the time-study and the 24 h heart rate methods using seven young women who work out on a regular basis. The main findings of this study are as follows;

1) The mean (\pm SD) value of daily energy expenditure obtained by the calorie counter, time-study, and 24 h heart rate method was $2,162 \pm 236$ kcal, $2,346 \pm 269$ kcal, $2,225 \pm 449$ kcal, respectively. These values were not significantly different, although the value of the calorie counter methods appeared to be a little lower than other two methods.

2) The daily activities were placed into five categories based on the intensity; sleeping, resting (lying, sitting or standing), light activity, medium activity, above medium activity. The energy expenditure value of each category was compared among the three methods. The calorie counter methods estimated the energy expenditure higher for sleeping, and lower for medium and above medium activity compared to other two methods.

These results suggest that the calorie counter method is useful for the estimation of daily energy expenditure for active young women as both the time-study and 24 h heart rate methods, and the validity are comparatively high.

Key Word : Calorie counter, Daily Energy expenditure, Time-study method,
24 h heart rate method

キーワード : カロリー計, 1日のエネルギー消費量, 生活時間調査法, 心拍数法

はじめに

体重の維持や減量, 増量を考える際にはエネルギー摂取量およびエネルギー消費量の把握が重要

となる。エネルギー消費量を推定するには, 生活行動時間の記録から求める方法 (以下: 生活時間調査法)¹⁸⁾, 呼気 (酸素摂取量) を直接採集し分析する方法⁷⁾¹³⁾, 心拍数と酸素摂取量の関係式を予め

作成し心拍数から酸素摂取量を求める方法（以下：心拍数法）⁶⁾⁹⁾、歩数計による歩数から求める方法⁴⁾、アクトコーダ（身体活動測定装置）のアクトグラムから求める方法⁸⁾、カロリー計（消費カロリー測定機）による方法¹²⁾¹⁷⁾などがある。いずれの方法にも長所と短所がみられるが、一般に幅広く普及させるためには複雑な操作・作業が不要であり、なおかつ正確に測れる手法が望まれている。

加速度を利用したカロリー計は、歩数計と同じく腰部に装着するだけでエネルギー消費量が測定できるという簡便さと安価に特長がある。しかしながら、この機器は本来糖尿病患者など比較的活動量の少ない者のエネルギー消費量を評価するために開発されたもの¹⁰⁾であるため、運動習慣を有し活動量が比較的多い者に対する妥当性¹⁾²⁾³⁾は課題として残されていたように思われる。

そこで本研究では、運動習慣を有する若年齢者のカロリー計によるエネルギー消費量の妥当性を、生活時間調査法および心拍数法の値と比較することにより検討した。

対象および方法

1. 被験者

本学の健康体育専攻の女子学生7名である。身体的特性は表1に示した。

2. 測定項目

1日24時間の日常生活においてカロリー計測定法、生活時間調査法、心拍数法によるエネルギー消費量の測定を行った。

3. 測定方法

1) カロリー計によるエネルギー消費量の測定
 カロリー計にはスズケン社製 Kenz カロリー

カウンターセレクト2（54.5×33.0×12.6mm，32g）を用いた。このカロリー計は加速度を検出する加速度センサーと基礎代謝量や運動量、微小運動量などを算出する演算部分から成り立っている。基礎代謝量は性別、年齢、身長、体重を入力することにより、体表面積当たりの基礎代謝基準値¹⁵⁾より計算され1分ごとに加算される。なお、体表面積の算出は藤本らの式⁵⁾ $\{A = W^{0.444} \times H^{0.663} \times 88.83$ （A：体表面積cm²，W：体重kg，H：身長cm）}によった。運動量は4秒ごとの上下動作での加速度センサーの振幅と振動頻度によって運動強度を10段階に分け、これに対応した運動係数を掛け合わせ総和することで求められる。また、微小運動量は前3分間に下限値を越えない微小な動き（デスクワークなど）があった場合に4秒ごとに加算される。したがって、総エネルギー消費量は基礎代謝量と運動量の和に食物の特異動的作用による代謝増量分を積算し、それに微小運動量を加えた次式によって算出されている。

総エネルギー消費量 = (基礎代謝量 + 運動量) × 1.11 + 微小運動量

※この1.11のうち0.11 = 食物の特異動的作用
 カロリー計は睡眠時、入浴（シャワー含む）時、水泳時以外は腰部に装着し、行動内容が変わるごとに1分単位で表示値を記録した。入浴、水泳時のカロリー計のエネルギー消費量は便宜上、生活時間調査法と心拍数法の間接値として計算した。

2) 生活時間調査によるエネルギー消費量の測定

1日24時間の行動内容を1分単位で記録した。個人別の基礎代謝基準値は、厚生省報告の体表面積当たりの基礎代謝基準値¹⁵⁾によった。なお、体表面積算出には藤本らの式⁵⁾を用いた。運動強度は「第五次改定日本人の栄養所要量」¹⁶⁾に記載さ

表1 被験者の身体的特性

人数 (人)	身長 (cm)	体重 (kg)	BMI (kg/m ²)	体脂肪率 (%)	最大酸素摂取量 (ml/kg/分)
7	157.7±5.3	57.4±6.1	23.0±1.4	26.6±1.5	35.2±3.2

(平均値±標準偏差)

れているエネルギー代謝率 (RMR) を参考に決定した。睡眠時の代謝量は基礎代謝量の90%として算出した。

3) 心拍数法によるエネルギー消費量の測定

心拍数と酸素摂取量の関係式($HR-\dot{V}O_2$)は橋本ら⁶⁾の方法を改変して作成した。安静時代謝および運動時代謝のプロトコールは表2に示した。被験者は食事後2時間以上経過した後、椅座位で20~30分間安静を保ち代謝測定に参加した。測定は椅座位代謝、立位代謝、運動漸増負荷、運動漸減負荷、立位代謝、椅座位代謝の順に連続して行った。酸素摂取量は安静時または各運動負荷段階の最後1分間の呼気分析値を用いることにより求めた。心拍数は胸部双極誘導法にて測定し、酸素摂取量と同じく最後1分間の値とした。運動負荷の測定にはトレッドミル(日本光電工業株式会社製STM-1500)を用いた。酸素摂取量は呼気分析装置(ミナト社製エアロモニターAE-280)にて測定した。

表2 安静時および運動時代謝のプロトコール

動作の種類		速度(m/分)	斜度(%)	時間
安静	椅座位	—	—	3分
	立位	—	—	3分
運動 (歩行)	第1負荷	60	0	3分
	第2負荷	75	3	3分
	第3負荷	90	6	3分
	第4負荷	75	3	3分
	第5負荷	60	0	3分
安静	立位	—	—	3分
	椅座位	—	—	3分

①回帰直線Aの作成

回帰直線Aは基礎代謝と椅座位前代謝の座標を結ぶ1次回帰式とし、睡眠時の代謝測定に用いた。基礎代謝量および基礎代謝時の心拍数は、椅座位前代謝量および椅座位前心拍数を1.2で除した値とした。

②回帰直線Bの作成

回帰直線Bは椅座位前代謝、椅座位後代謝それぞれの心拍数、酸素摂取量の平均座標と立位前代謝、立位後代謝それぞれの心拍数、酸素摂取量の平均座標を結ぶ1次回帰式とした。

③回帰曲線Cの作成

回帰曲線Cは立位前代謝、立位後代謝それぞれの心拍数、酸素摂取量の平均座標と運動第1負荷、運動第5負荷それぞれの心拍数、酸素摂取量の平均座標を結ぶ指数関数式とした。

④回帰直線Dの作成

回帰直線Dは運動第1負荷、運動第5負荷それぞれの心拍数、酸素摂取量の平均座標と運動第2負荷、運動第4負荷それぞれの心拍数、酸素摂取量の平均座標および運動第3負荷の心拍数、酸素摂取量の座標を結ぶ1次回帰式(最小二乗法による3座標の近似式)とした。

各被験者ごとに回帰直線A, B, Dおよび回帰曲線Cを同一座標上に引き、 $HR-\dot{V}O_2$ 関係式を作成した。

⑤心拍数からのエネルギー消費量の算出

被験者は心拍数計(ポーラエレクトロ社製バンテージXLまたはXL new)を装着し、1日24時間の心拍数を1分間隔で記録した。次に、各自の24時間の心拍数を予め作成した $HR-\dot{V}O_2$ 関係式にあてはめて各動作別のエネルギー消費量を求め、その総和を1日のエネルギー消費量とした。

なお、酸素1ℓあたりのエネルギー発生量を非蛋白呼吸商0.85と仮定し、4.862 kcal¹¹⁾としてエネルギー消費量を計算した。

4. 測定期間・時間

1996年5月~7月の1日間とした。エネルギー消費量測定は $HR-\dot{V}O_2$ 関係式作成日より原則1週間以内に実施した。なお、心拍数測定、行動内容記録、カロリー計表示記録は被験者の都合がよい時間帯より同時に開始し、24時間が経過した時点で終了とした。

5. 統計処理

3つの測定法による1日および動作別のエネルギー消費量の差の検定には一元配置分散分析を用い、有意差がみられた場合にはFisherのPLSDに

よる対比較を行った。有意水準の判定は5% ($p < 0.05$) とした。

結果

表3 各測定法による1日のエネルギー消費量

被験者	カロリー計 測定法	生活時間 調査法	心拍数法
A	2,250	2,316	2,587
B	1,988	2,036	1,729
C	2,442	2,708	2,727
D	2,119	2,289	2,672
E	2,188	2,634	2,187
F	1,758	2,008	1,642
G	2,390	2,428	2,028
平均値 (標準偏差)	2,162 (236)	2,346 (269)	2,225 (449)

(単位: kcal)

表4 動作別のエネルギー消費量

(単位: kcal/kg/分)

動作	測定法	エネルギー消費量
睡眠時	カロリー計測定法	0.0174 ± 0.0007
	生活時間調査法	0.0140 ± 0.0006
	心拍数法	0.0135 ± 0.0011
臥位・座位・立位 (RMR 0.9 以下)	カロリー計測定法	0.0245 ± 0.0025
	生活時間調査法	0.0230 ± 0.0010
	心拍数法	0.0237 ± 0.0046
軽い動作 (RMR 1.0~1.9)	カロリー計測定法	0.0378 ± 0.0064
	生活時間調査法	0.0426 ± 0.0018
	心拍数法	0.0494 ± 0.0146
中等度の動作 (RMR 2.0~3.4)	カロリー計測定法	0.0362 ± 0.0090
	生活時間調査法	0.0558 ± 0.0053
	心拍数法	0.0437 ± 0.0095
中等度以上の動作 (RMR 3.5 以上)	カロリー計測定法	0.0524 ± 0.0148
	生活時間調査法	0.0949 ± 0.0189
	心拍数法	0.0657 ± 0.0177
平均値 ± 標準偏差		*: $p < 0.05$ **: $p < 0.01$ ***: $p < 0.001$

被験者の1日の平均歩数は11,732 ± 3,212歩 (幅9,212~18,029歩) であった。表3に各測定法による1日のエネルギー消費量を各被験者の値および平均値で示した。カロリー計測定法は2,162 ± 236kcal, 生活時間調査法は2,346 ± 269kcal, 心拍数法は2,225 ± 449kcalであり, 3法には有意な差が認められなかったが, いずれの被験者もカロリー計測定法が生活時間調査法より少ない値であった。

表4には行動記録より得られた動作別のエネルギー消費量の平均値を, 体重1kgあたり1分あたりの量(kcal/kg/分)として示した。睡眠時では, カロリー計測定法が生活時間調査法, 心拍数法よりも有意(いずれも $p < 0.001$)に高かった。臥位・座位・立位(RMR 0.9 以下) および軽い動作(RMR 1.0~1.9) では3法に有意な差はみられなかった。中等度の動作(RMR 2.0~3.4)では, 生活

時間調査法がカロリー計測定法, 心拍数法よりも有意(順に $p < 0.001$, $p < 0.05$)に高かった。また, 中等度以上の動作(RMR 3.5 以上)でも生活時間調査法がカロリー計測定法, 心拍数法より有意(順に $p < 0.001$, $p < 0.01$)に高かった。なお, 生活内容の平均時間の内訳は睡眠時33.3%, 臥位・座位・立位44.6%, 軽い動作8.7%, 中等度の動作6.5%, 中等度以上の動作6.9%であった。また, 入浴や水泳などカロリー計装着が不可能な動作の平均消費量は120kcalであった。

考察

今回の1日のエネルギー消費量測定では3法に有意な差は認められなかったが, 平均値で比較するとカロリー計測定法が最も低く, 次いで心拍数法, 生活時間調査法の順であった。これは我々が以前

行った結果¹⁾であるカロリー計測定法が最も低く、次いで生活時間調査法(行動時間調査法)、心拍数法の順であったことおよびカロリー計測定法が他の2法に比し有意($p < 0.05$)に低かったことと異なっていた。この原因として、今回は運動時の消費量を漸増負荷時の心拍数法から求めると実際の消費量より過大評価される傾向がある¹⁴⁾ことから、漸減負荷時を組み合わせたプロトコルを採用したことが挙げられる。

ところで、柳堀ら¹⁸⁾は運動習慣のない大学生を対象に1日のエネルギー消費量を比較したところ、平均値では今回の結果と同様に、カロリー計測定法(消費カロリー測定機法)、心拍数法、生活時間調査法(行動記録法)の順に低かったと報告している。さらに、カロリー計測定法は心拍数法および生活時間調査法よりも有意に低かったとし、カロリー計測定法と生活時間調査法の差は平均465kcalであったとしている。しかし、今回の測定によるカロリー計測定法と生活時間調査法の差は平均184kcalと比較的少なく、この点では多少異なっていた。この相違は、柳堀ら¹⁸⁾の採用したエネルギー代謝率が沼尻¹¹⁾によってまとめられたものであるのに対し、我々の調査では「第五次改定日本人の栄養所要量」¹⁶⁾に記載されているエネルギー代謝率を参考に決定したところにあるのかもしれない。また生活時間調査の内容を柳堀ら¹⁸⁾は5分単位で記録したのに対し、本調査では1分単位としたことも関係していると思われる。さらに、入浴や水泳などカロリー計装着が不可能な動作でのカロリー計測定法の値を本調査では便宜上、生活時間調査法と心拍数法の間値として計算したことも要因の1つと考えられる。また、中学生を対象にカロリー計測定法と心拍数法による1日のエネルギー消費量を比較した木田ら⁹⁾の報告でも、平均的にはカロリー計測定法がやや低い値であったとし、本測定と同様な結果を得ている。したがって、これらを総合的にみるとエネルギー消費量を1日としてとらえた場合、若年齢者ではカロリー計測定法による消費量は生活時間調査法や心拍数法の値よりも僅かながら低く評価される可能性も考えられる。

次にエネルギー消費量を各動作別にみると、睡

眠時ではカロリー計測定法が生活時間調査法や心拍数法よりも高かった。一方、中等度および中等度以上に動作では、カロリー計測定法が心拍数法や生活時間調査法よりも低い傾向にあり、それは生活時間調査法との関係において顕著であった。これには自転車運動や抵抗運動のように、実際の消費量は高いものの腰部の上下運動が小さいため、カロリー計による消費量が過小評価¹⁷⁾される動作が含まれていたことも関係していると思われる。

今回検討した3つの測定法はすべて間接法であるため、いずれの方法が1日のエネルギー消費量を正しく測定しているかについては判断できない。しかし、測定方法が確立されていない現状においては、各測定の精度を高めて比較することは必要であると考えられた。今回はその試みとして心拍数法によるエネルギー消費量の算出方法を前回の方法¹⁾を改変して比較・検討した。その結果、カロリー計によるエネルギー消費量は他の2法に比べ若干低いことは否めないものの、睡眠時の過大評価と中等度および中等度以上の動作の過小評価が加減し合い、総合的にはカロリー計測定法の値の妥当性は比較的高くなっているように感じられた。したがって、自転車運動や抵抗運動などカロリー計によるエネルギー消費量が過小評価される運動を極端に多く有しない日常生活の活動量把握には十分な実用価値があると思われる。

まとめ

本研究では、運動習慣を有する若年女性7名を対象に、カロリー計(Kenzカロリーカウンターセレクト2)による1日のエネルギー消費量の妥当性を、生活時間調査法および心拍数法の値と比較することにより検討した。

結果の要約は以下のとおりである。

- 1) カロリー計測定法は $2,162 \pm 236$ kcal、生活時間調査法は $2,346 \pm 269$ kcal、心拍数法は $2,225 \pm 449$ kcalであり、カロリー計測定法が他の2法よりやや低かったが有意な差ではなかった。
- 2) 1日のエネルギー消費量を行動記録を基に5つの動作(睡眠時、臥位・座位・立位、軽い動作、中等度の動作、中等度以上の動作)に分類し

たところ、睡眠時ではカロリー計測定法が生活時間調査法、心拍数法より高かったが、中等度および中等度以上の動作ではカロリー計測定法が最も低かった。

以上のことから、運動習慣を有する若年齢者のカロリー計による1日のエネルギー消費量の妥当性は比較的高いように思われた。

参考文献

- 1) 文谷知明, 星川秀利: カロリー計による1日のエネルギー消費量の検討, 東京体育学研究 1997年度報告: 23-28, 1997.
- 2) 文谷知明, 星川秀利: カロリー計による運動時エネルギー消費量の検討, 武蔵丘短期大学紀要, 第3巻: 105-111, 1995.
- 3) 文谷知明, 星川秀利: カロリー計による運動時エネルギー消費量の検討 —その2— トレッドミル運動と戸外運動の相違一, 武蔵丘短期大学紀要, 第4巻: 69-75, 1996.
- 4) 戎 利光, 斎藤由美, 島田 茂, 加藤孝之: 1日のエネルギー消費量とペドメータ歩数との相互関係, デサントスポーツ科学, 11: 115-123, 1990.
- 5) 藤本薫喜, 渡辺 孟, 坂本 淳, 湯川幸一, 森本和枝: 日本人の体表面積に関する研究 (第18篇) 三期にまとめた算出式, 日本衛生学雑誌, 23 (5): 443-450, 1968.
- 6) 橋本 勲, 青木純一郎, 進藤宗洋, 小林寛道, 佐藤 祐: 日本人の身体的活動量の低下状況とその改善手段に関する研究, 国立栄養研究所報告, 32: 53-59, 1983.
- 7) 星川 保, 森 悟: 無線方式酸素摂取量測定装置(K2)を用いた歩数計 歩数のカロリメトリックス—1万歩の消費カロリー—, 臨床スポーツ医学, 12 (9): 1053-1059, 1995.
- 8) 星川 保, 豊島進太郎, 森 悟, 森 奈緒美, 池上康男: アクトグラムの体育授業研究への応用: 授業時身体活動経過の記録法の開発, 体育学研究, 37 (1): 15-27, 1992.
- 9) 木田和幸, 孫 光, 五十嵐路子, 対馬伸晃: 中学生の生活活動に関する研究 第2報 カロリー計測定機法と心拍数法によるエネルギー消費量, 学校保健研究, 35: 278-283, 1993.
- 10) 野村幸史, 斎藤 茂, 池田義雄: Kenz カロリー・カウンターの使用経験, 糖尿病治療研究会報, 7: 49-53, 1986.
- 11) 沼尻幸吉: 活動のエネルギー代謝 増補第2版, 労働科学叢書No.37 (川崎), 労働科学研究所, 1982.
- 12) 芝山秀太郎, 魏 長年, 倉田 博: 運動時の消費エネルギーのカロリーカウンターによる定量化, 鹿屋体育大学学術研究紀要, 第10号: 51-61, 1993.
- 13) 高見京太, 北川 薫, 石河利寛: 酸素摂取量の実測によるスポーツ活動中のエネルギー消費量, 体力科学, 42 (3): 257-264, 1993.
- 14) 高見京太, 北川 薫: 活動中のエネルギー消費量を求めるための心拍数と酸素摂取量の関係式の検討, 日本体育学会第45回大会号, 267, 1994.
- 15) 厚生省保健医療局健康増進栄養課編: 第五次改定日本人の栄養所要量, pp46-50, 第一出版 (東京), 1994.
- 16) 厚生省保健医療局健康増進栄養課編: 第五次改定日本人の栄養所要量, pp62-63, 第一出版 (東京), 1994.
- 17) 山田誠二, 馬場快彦: 加速度計を利用したカロリーカウンターによる身体活動エネルギー量測定の有効性, 産業医学, 32: 253-257, 1990.
- 18) 柳堀朗子, 青木和夫, 鈴木洋児, 郡司篤晃: 一日の日常生活活動量測定方法の検討, 日本公衆衛生雑誌, 38 (7): 483-491, 1991.