

カロリー計による坂道歩行と階段歩行のエネルギー消費量の評価

—運動習慣を有する学生の場合—

文谷 知明, 星川 秀利

Estimation of energy expenditure during walking slopes and stairs for active students by a calorie counter

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 the estimation of energy expenditure during walking slopes and stairs. Subjects were 60 students (21 men and 39 women) who worked out on a regular basis. The main findings of this study are as follows;

1) The mean difference in the value of energy expenditure during level, slope (up or down), and stairs (up or down) walking between the calorie counter and that measured by oxygen uptake was 0.019, -0.029, 0.050, -0.049, and 0.055 kcal/kg/min, respectively for men. For women, the mean difference was 0.027, -0.017, 0.053, -0.042, and 0.061 kcal/kg/min, respectively. The energy expenditure by the calorie counter was significantly higher than that measured by oxygen uptake for level, downslope, and downstairs walking, but was significantly lower for upslope and upstairs walking.

2) The mean differences (percentage) in the value of energy expenditure of up and down slope walking and stairs walking between the two methods were 0.010 kcal/kg/min (11.8%), and -0.003 kcal/kg/min (3.2%), respectively for men and 0.018 kcal/kg/min (21.4%), and 0.009 kcal/kg/min (9.7%), respectively for women. The differences were smaller for the stairs walking compared to the slope walking.

These results suggested that the estimation of energy expenditure during walking with slopes and stairs by the calorie counter included some errors.

Key word : calorie counter, energy expenditure, slope walking, step walking, active students

キーワード : カロリー計, エネルギー消費量, 坂道歩行, 階段歩行, 運動習慣を有する学生

はじめに

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に特長があるため, 近年では多方面で活用されている。ところで, カロリー計による歩行または走行のエネルギー消費量の妥当性を検討した報告は数多くみられる^{8) 9) 12) 13) 14)}が,

傾斜を伴う坂道の昇降動作⁵⁾や階段の昇降動作^{7) 10)}についての報告は数少ないように思われる。我々もこれまでに歩行、走行時のエネルギー消費量について検討してきた^{1) 2)}が、これらは平地歩行が条件となっている。日常の歩行動作のエネルギー消費量を総合的に評価するためには、平地のみならず坂道や階段の移動も合わせて検討する必要があると考えられる。

そこで本研究では、坂道と階段それぞれの昇降時におけるカロリー計の測定精度を酸素摂取量実測から求めた消費量と比較することにより検討を加えた。

対象と方法

1. 被験者

本短期大学の健康・体育専攻学生60名（男性21名、女性39名）である。身体的特性は表1に示した。

2. 実験方法

本学周辺の平地、坂道、階段を活用して3つの歩行コース（表2参照）を設定し、平地歩行、坂

道昇り、坂道降り、階段昇り、階段降りの5つの歩行運動を行った。被験者はカロリー計と心拍計を装着し、ダグラスバッグを背負った状態¹⁾でスタート地点に立ち、スタート（ストップウォッチ使用）と同時にカロリー計をゼロ設定するとともに呼気ガスの採気を開始した。歩行速度は各被験者に任せたが、一定速度を保ちつつ速歩ぎみで歩くように指示した。ゴール地点に達すると被験者は足を止め、速やかに呼気ガスの採気を終えると同時に所要時間、カロリー計表示値、心拍数を読み取り記録した。採気された呼気ガスは速やかに分析され、酸素摂取量（酸素消費量）を求めた。そして酸素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、4.862kcal⁶⁾としてエネルギー消費量を計算した。実験には1名の被験者に対し1名の験者が対応した。歩行運動は時間的効率の面から、平地歩行、階段降り、階段昇り、坂道降り、坂道昇りの順に行うこととし、各運動の間には十分な休憩（10～15分程度）を取った。

なお、酸素摂取量測定にはミナト社製エアロモニターAE-280を使用し、カロリー計にはスズケ

表1 被験者の身体的特性

	人数 (人)	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	BMI (kg/m ²)	体脂肪率 (%)	最大酸素摂取量 (ml/kg/分)
男性	21	19.5±0.7	172.4±4.3	63.9±7.0	21.5±2.0	9.7±5.0	57.7±8.9
女性	39	19.2±0.4	159.3±3.8	56.7±7.7	22.3±2.5	24.0±4.2	41.2±6.2

(平均値±標準偏差)

表2 歩行の種類とコースの概要

歩行の種類	距離・階段数	コースの概要
平地歩行	140m	トラック(直線65m×2, 円弧5m×2)
坂道(昇り)	140m	平均斜度15%程度
坂道(降り)	140m	平均斜度15%程度
階段(昇り)	125段	水平移動距離約40m, 斜度約60%, 踊り場9カ所(50m)含む
階段(降り)	125段	水平移動距離約40m, 斜度約60%, 踊り場9カ所(50m)含む

(階段1段は17～19cm)

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。カロリー計の特徴は前報³⁾に示したとおりである。また心拍数計にはポーラエレクトロ社製のアキュレックスプラスを用いた。

3. 実験条件

実験は1998年5月に実施した。当日の天候は晴れ、気温26～32℃、湿度はおおよそ50%であった。

4. 統計処理

酸素摂取量実測から求めた消費量とカロリー計による消費量の比較は体重1kgあたり1分あたりのエネルギー消費量(kcal/kg/分)とした。両測定法の平均値の差の検定には、対応のあるt検定を用いた。また両測定法の相関性をみる指標としてPearsonの積率相関係数を用い、両測定法による値の不一致程度(ばらつき)をみる指標には推定の標準誤差を用いた。なお有意水準の判定は5%($p < 0.05$)とした。

結 果

表3には各種歩行における所要時間、歩数、1歩に要する時間、心拍数および推定運動強度の平均値と標準偏差を示した。1歩に要する平均時間

は平地歩行、坂道昇り、坂道降り、階段昇り、階段降りの順に男性は0.51秒、0.54秒、0.49秒、0.55秒、0.49秒、女性は0.48秒、0.53秒、0.48秒、0.54秒、0.48秒であり、男女とも階段昇り、坂道昇りの順に所要時間が長かったが、平地歩行、階段降り、坂道降りには大きな差はみられなかった。なおゴール直後の運動強度を安静時心拍数60拍/分としkarvonen法にて推定すると、男女とも階段昇り、坂道昇り、平地歩行、階段降り、坂道降りの順に高い値を示した。その平均値は同順に男性は55.6%、41.8%、27.6%、25.1%、24.1%、女性は70.8%、59.0%、38.1%、35.0%、34.6%であり、女性が男性より10～15%ほど高かった。

表4には各種歩行における酸素摂取量実測から求めたエネルギー消費量(以下酸素摂取量実測値)とカロリー計によるエネルギー消費量(以下カロリー計表示値)および酸素摂取量実測値に対するカロリー計表示値の差(以下両測定法の差)の平均値と標準偏差を示した。両測定法の差の平均は平地歩行、坂道昇り、坂道降り、階段昇り、階段降りの順に男性は0.019kcal/kg/分、-0.029kcal/kg/分、0.050kcal/kg/分、-0.049kcal/kg/分、0.055kcal/kg/分、女性は0.027kcal/kg/分、-0.017kcal/kg/分、0.053kcal/kg/分、-0.042 kcal-

表3 各種歩行における所用時間、歩数、1歩に要する時間、心拍数および推定運動強度

歩行の種類	所要時間 (秒)	歩 数 (歩)	1歩に要する時間 (秒/歩)	心拍数 (拍/分)	推定運動強度 (%)	
男 性	平地歩行	98.9±5.7	193.3±16.4	0.51±0.04	98.7±11.4	27.6±8.2
	坂道(昇り)	103.9±10.0	193.4±12.5	0.54±0.06	118.8±14.1	41.8±10.1
	坂道(降り)	92.7±8.0	190.6±9.5	0.49±0.04	93.9±10.3	24.1±7.4
	階段(昇り)	103.1±7.3	186.4±14.0	0.55±0.04	138.1±11.6	55.6±8.4
	階段(降り)	94.3±9.8	193.9±10.8	0.49±0.04	95.2±11.1	25.1±8.0
女 性	平地歩行	100.6±8.0	208.5±13.0	0.48±0.05	113.6±15.1	38.1±10.7
	坂道(昇り)	108.9±10.6	206.8±16.9	0.53±0.06	143.0±14.1	59.0±10.1
	坂道(降り)	95.2±9.5	198.0±12.5	0.48±0.05	108.7±16.2	34.6±11.6
	階段(昇り)	104.8±9.4	194.9±10.9	0.54±0.05	159.6±11.9	70.8±8.5
	階段(降り)	96.9±10.8	200.2±8.9	0.48±0.06	109.3±16.9	35.0±12.0

※ 推定運動強度は karvonen法(安静時心拍数60拍/分とする)による値 (平均値±標準偏差)

表4 各種歩行のエネルギー消費量

(単位: kcal/kg/分)

	歩行の種類	酸素摂取量実測	カロリー計	差
男性	平地歩行	0.068±0.012	0.087±0.013	0.019±0.017 ***
	坂道(昇り)	0.110±0.023	0.080±0.016	-0.029±0.017 ***
	坂道(降り)	0.061±0.010	0.110±0.018	0.050±0.017 ***
	階段(昇り)	0.128±0.017	0.079±0.012	-0.049±0.019 ***
	階段(降り)	0.063±0.009	0.117±0.027	0.055±0.024 ***
女性	平地歩行	0.068±0.007	0.095±0.015	0.027±0.016 ***
	坂道(昇り)	0.101±0.021	0.084±0.013	-0.017±0.023 ***
	坂道(降り)	0.067±0.025	0.125±0.025	0.053±0.027 ***
	階段(昇り)	0.125±0.013	0.082±0.013	-0.042±0.014 ***
	階段(降り)	0.062±0.009	0.123±0.024	0.061±0.021 ***

*** p<0.001 (平均値±標準偏差)

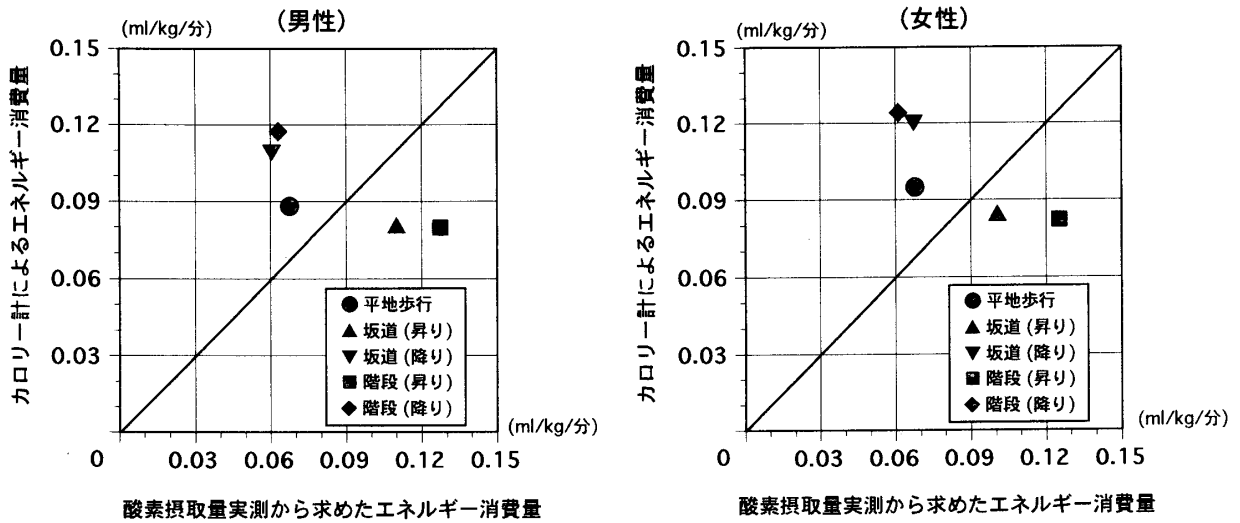


図1 各種歩行における両測定法間のエネルギー消費量の関係 (平均値で表示)

/kg/分, 0.061kcal/kg/分であり, 男女とも平地歩行, 坂道降り, 階段降りではカロリー計表示値の方が有意に (いずれも p<0.001) 高く, 坂道昇り, 階段昇りではカロリー計表示値の方が有意に (いずれも p<0.001) 低かった。なお, 図1には各種歩行における両測定法間のエネルギー消費量の関係を男女別に平均値で示した。

表5には坂道昇りと坂道降りおよび階段昇りと階段降りを平均した坂道昇降, 階段昇降の群を新たに設定し, 平地歩行と合わせて示した。坂道昇

降, 階段昇降の両測定法の差の平均は, 同順に男性 0.010kcal/kg/分 (p<0.01), -0.003kcal/kg/分 (NS), 女性 0.018kcal/kg/分 (p<0.001), 0.009 kcal/kg/分 (p<0.001) となり, 昇りと降りの単独の値よりもその差は縮まった。なお両測定法間の相関係数は, 平地歩行, 坂道昇降, 階段昇降の順に男性は 0.134 (NS), 0.442 (p<0.05), 0.554 (p<0.01), 女性は 0.050 (NS), 0.486 (p<0.01), 0.463 (p<0.01) であり, 坂道昇降, 階段昇降において有意な相関関係が認められた。また推定の標準誤差

表5 平地歩行, 坂道昇降, 階段昇降におけるエネルギー消費量

歩行の種類	酸素摂取量実測 (kcal/kg/分)	カロリー計 (kcal/kg/分)	差 (kcal/kg/分)	相関係数	推定の標準誤差 (kcal/kg/分)
男性 平地歩行	0.068±0.012	0.087±0.013	0.019±0.017 ****	0.134 NS	0.012
男性 坂道昇降	0.085±0.012	0.095±0.014	0.010±0.014 **	0.442 *	0.011
男性 階段昇降	0.095±0.012	0.093±0.009	-0.003±0.014 NS	0.554 **	0.010
女性 平地歩行	0.068±0.007	0.095±0.015	0.027±0.016 ****	0.050 NS	0.007
女性 坂道昇降	0.084±0.009	0.102±0.015	0.018±0.013 ****	0.486 **	0.008
女性 階段昇降	0.093±0.009	0.103±0.016	0.009±0.014 ****	0.463 **	0.008

****p<0.001 ** p<0.01 * p<0.05 NS:有意差なし

(平均値±標準偏差)

は, 平地歩行, 坂道昇降, 階段昇降の順に男性は0.012kcal/kg/分, 0.011kcal/kg/分, 0.010kcal/kg/分, 女性は0.007kcal/kg/分, 0.008kcal/kg/分, 0.008kcal/kg/分であり, 男性の方が女性より僅かながら大きい傾向がみられた。

考 察

松坂ら⁹⁾は運動部所属の女子大学生を対象にトレッドミル歩行実験を行い, 登(昇)りではカロリー計表示値が酸素摂取量実測値より低く, 下(降)りでは反対に高くなると報告している。また階段昇降時におけるカロリー計表示値の妥当性を成人対象で検討した高見ら¹⁰⁾の報告でも昇降速度に係わらず, 昇りではカロリー計表示値が過小評価, 降りでは反対に過大評価になるとしており, 今回の我々の実験と同様な結果を得ている。このように, 坂道や階段では昇る時の方が降りる時よりも生体負担は大きいにも係わらず, 腰部衝撃度は反対に降りる時の方が大きくなるため, 昇る時と降りる時の酸素摂取量実測値とカロリー計表示値の間には相反する結果が示されることになる。したがって, 坂道や階段の昇り降りが多い場合には, カロリー計表示値はある程度の誤差を生じることを理解して使用する必要があると思われる。

ところで, 通常の移動・動作を考えると, 坂道や階段は昇ればその分だけ降りるのが一般的と思われる。そこで本研究では, 昇りと降りとの単独の値だけでなく, 昇りと降りを合わせた運動いわゆる坂道昇降と階段昇降を設定し, 両測定法の

差を検討してみた。なお, 昇りと降りとの運動は連続動作ではないため, 今回の結果のみから坂道昇降と階段昇降のすべてを評価することはできないが, 現実的には昇った後すぐに降るまたは降りた後すぐに昇る場合ばかりではないと考えると, 限られた範囲内で評価することは可能であろう。その結果, 両測定法の差は坂道昇降, 階段昇降とすることによって縮小され, 平地歩行の差よりもむしろ少なくなっていた。ここで, 20歳前後の平均的日本人体型⁴⁾を参考に, 体重65kgの男性と52kgの女性が10分間運動したとすると, 酸素摂取量実測値, 両測定法の差およびパーセンテージは, 男性の坂道昇降で順に55.3kcal, 6.5kcal, 11.8%, 階段昇降では61.8kcal, 2.0kcal, 3.2%となり, また女性では坂道昇降で順に43.7kcal, 9.4kcal, 21.4%, 階段昇降では48.4kcal, 4.7kcal, 9.7%となる。これらの結果から考えると, 坂道昇降における両測定法の差は平地歩行の差ほどは大きくはないものの, 男性は10%を越え, また女性では20%を越えており, カロリー計の精度はそれほど高くないように感じられた。一方, 階段昇降でのカロリー計の精度は坂道昇降よりは高いことが示され, なかでも男性におけるその精度はかなり高いことが示された。

カロリー計に内蔵されている加速度計の運動強度指数(10段階)対応の運動係数は, 平地での歩行を想定したものであって傾斜を考慮したものではない。しかしながら今回の結果のように, 平地歩行での両測定法の差が坂道昇降や階段昇降の差

よりも大きかったことは皮肉と言わざるを得ない。ちなみに今回の平地歩行の平均速度は男女とも約85m/分であり、この速度における一般人のエネルギー消費量は概ね0.070~0.080kcal/kg/分¹⁵⁾¹⁶⁾程度と予測される。本実験の酸素摂取量実測値の平均は男女とも0.068kcal/kg/分であり予測範囲の値よりやや低めであったが、これは被験者が健康・体育専攻学生であったため心肺持久力が高く¹⁷⁾、結果として少ない酸素摂取量で歩行が実施できたため¹⁾と考えられる。一方のカロリー計表示値の平均は男性0.087kcal/kg/分、女性0.095kcal/kg/分であり、予測範囲値より高めであった。これらのことから平地歩行の視点から考えると、運動習慣の有無も考慮した上で加速度計の各運動強度に対応した運動係数の1部分を下方修正する余地がある²⁾ことが再確認できたといえる。またこの運動係数の下方修正により、坂道昇降や階段昇降の差もさらに縮小されることが期待され、カロリー計の測定精度向上に寄与するものと思われる。

しかしながら、トレッドミル上での実験ではあるものの、水平(平地)歩行では両測定法の値はほぼ一致するという主旨の報告³⁾もあることに加え、登山のように傾斜角度が大きい場合や反対に小さい場合においても本実験と同様な結果が導かれるのかどうかという疑問も残ることから、今後さらなる検討が必要と思われる。また今回の昇り動作、とりわけ女性の階段昇りや坂道昇りでは推定運動強度から判断して、酸素負債状態で運動していた者も少なからず存在したと考えられるが、この点については考慮していない。もしこの点を考慮したとすると、酸素摂取量実測値は今回示した値より高くなることが考えられ、女性では両測定法の差はさらに縮小される可能性がある。この点についても、今後検討すべき課題と思われる。

まとめ

本研究では、本短期大学の健康・体育専攻学生60名(男性21名、女性39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)による坂道歩行と階段歩行のエネルギー消費量の妥当性を検討した。結果の要約は以下のとおりである。

1) 酸素摂取量実測値に対するカロリー計表示値の差の平均は平地歩行、坂道昇り、坂道降り、階段昇り、階段降りの順に男性は0.019kcal/kg/分、-0.029kcal/kg/分、0.050kcal/kg/分、-0.049kcal/kg/分、0.055kcal/kg/分、女性は0.027kcal/kg/分、-0.017kcal/kg/分、0.053kcal/kg/分、-0.042kcal/kg/分、0.061kcal/kg/分であり、男女とも平地歩行、坂道降り、階段降りではカロリー計表示値の方が有意に高く、坂道昇り、階段昇りではカロリー計表示値の方が有意に低かった。

2) 両測定法の差およびその割合の平均は、男性の坂道昇降で0.010kcal/kg/分、11.8%、階段昇降では-0.003kcal/kg/分、3.2%、また女性では坂道昇降で0.018kcal/kg/分、21.4%、階段昇降では0.009kcal/kg/分、9.7%であり、階段昇降の方が坂道昇降より誤差が小さかった。

以上のことから、坂道歩行や階段歩行におけるカロリー計のエネルギー消費量評価には、ある程度の誤差が生ずることが示された。

参考文献

- 1) 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.
- 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 - その2 トレッドミル運動と戶外運動の相違 -, 武蔵丘短期大学紀要, 第4巻: 69-75, 1996.
- 3) 文谷知明, 星川秀利: 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 -, 武蔵丘短期大学紀要, 第5巻: 43-48, 1997.
- 4) 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, pp8-9, 第一出版, 1994.
- 5) 松坂 晃, 尾形敬史, 太田茂秋, 服部恒明: カロリーカウンターによる坂登り・坂下りのエネルギー消費量, 日本体育学会第45回大会号, 268, 1994.
- 6) 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, 労働科学研究所, 1982.

- 7) 芝山秀太郎, 江橋 博編: フィットネススポーツの科学, 朝倉書店, pp85-86, 1997.
- 8) 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.
- 9) 高見京太, 北川 薫: 歩行および走行時におけるカロリーカウンターセレクトの精度の検討, 体力科学, 43(6): 573, 1994.
- 10) 高見京太, 北川 薫, 石河利寛: 階段昇降時のCalorie Counter Selectによるエネルギー消費量測定 of 検討, 体力科学, 45(6): 573, 1996.
- 11) 東京都立大学体育学研究室編: 日本人の体力標準値 第4版, 不昧堂出版, 1989.
- 12) 渡辺義行, 平岡 淳, 楓 美恵子, 石子裕朗: Kenz カロリー・カウンターの信頼性の検討, 臨床スポーツ医学, 6(11): 1265-1269, 1989.
- 13) 横地正裕, 新実光朗: 糖尿病患者の歩行時にカロリーカウンターによって測定されたエネルギー量の妥当性, 理学療法学, 22(4): 178-180, 1995.
- 14) 山田誠二, 馬場快彦: 運動強度を加味したカロリーカウンターによる運動時消費エネルギー量の測定, 産業医科大学雑誌, 12(1): 77-82, 1990.
- 15) (財)健康・体力づくり事業財団編: 健康運動実践指導者用テキスト-健康運動指導の手引き-, pp154-156, 南江堂, 1996.
- 16) (財)健康・体力づくり事業財団編: 健康運動指導士養成テキスト〔Ⅲ〕, pp187-188, 第一出版, 1994.