

カロリー計による運動時エネルギー消費量の検討

文谷 知明 星川 秀利

A study on energy expenditure during exercise by the calorie counter

Tomoaki BUNYA and Hidetoshi HOSHIKAWA

Abstract

A study was conducted to investigate the relationship between energy expenditure by the oxygen uptake and indirect energy consumption by the calorie counter (Kenz Calorie Counter Select) by means of walking and running out of doors.

The subjects were 51 healthy junior college students (15 males and 36 females). The results were summarized as follows:

- 1) There was a significant correlation between energy expenditure by the oxygen uptake (x) and energy consumption by the calorie counter (y) ($y = -3.991x^2 + 1.870x - 0.023$; $r = 0.946$, $p < 0.001$).
- 2) There was a significant correlation between speed of exercises (x) and the ratio of energy consumption by the calorie counter to energy expenditure by the oxygen uptake (y) ($y = -0.000056x^3 + 0.0260x^2 - 4.124x + 330.1$; $r = 0.637$, $p < 0.001$).
- 3) It was shown that energy consumption by the calorie counter was about 20 percent higher than energy expenditure by the oxygen uptake for walking speed from 80 to 116 m/min.
- 4) At a running speed of more than about 150 m/min, energy consumption by the calorie counter was limited to increase, though energy expenditure by the oxygen uptake was increasing.

Key word : Calorie counter, Energy expenditure, Oxygen uptake, Walking, Running

キーワード：カロリー計，エネルギー消費量，酸素消費量，歩行，走行

緒 言

健康生活を支える3本柱は栄養，運動，休養であるとされている。近年は交通機関の発達や家庭，職場の機械化・省力化により日常の活動量（運動量）は軽減される傾向にある。したがって、健康の維持・増進には身体活動量を高めるような指導・処方が要求されるが、そのステップとして実際の活動量を正確にかつ簡便に把握することが考えられる。

従来より用いられていた日常生活時および付加運動時の消費カロリー測定法には、呼気ガス（酸素摂取量）を運動時に直接採気・分析する方法，運動時に心拍数を測定し予め作成した心拍数と酸素摂取量の関係式から推定する方法^{5) 27)}，タイムスタディ（生活行動時間調査）の記録から求める方法²⁷⁾，歩数計による歩数から推定する方法^{1) 6) 9) 11)}などがある。なかでも第1，2番目に示した酸素摂取量を直接もしくは間接的に用いる方法は、より正確なエネルギー消費量を把握するにはすぐれている

ものの、経費が高く操作の煩雑さの面で多人数を評価するには問題がある¹⁴⁾とされている。タイムスタディによる方法は、行動調査表への記入のしかたや各動作強度 (RMR, Metsなど) の決め方に誤差が生じやすいという問題点がある。また歩数計による方法は簡便ではあるものの目安の域を出ることは難しい。

このような状況の中で、近年のコンピュータ技術の進歩により加速度を利用したカロリー計 (消費カロリー測定機) が市販されるようになった。この機器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を測定することができるという簡便さと安価に特長がある。ところで、カロリー計の信頼性や妥当性を検討した報告は幾つかみられる^{3) 7) 15) 16) 19) 21) 23) 26)}が、これらはトレッドミル上で実施されたものであり、戸外やトレッドミル以外

での実験報告は少ない^{18) 20) 25)}。これはトレッドミル上での実験がフィールド実験に比し運動負荷量の正確な定量に優れているためであると思われる。

そこで本研究では、トレッドミル上ではなく戸外で実験を行い、戸外運動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られる消費カロリーと比較することにより検討した。

対象と方法

被験者は健康な本短期大学生51名 (男性15名, 19.5 ± 0.7 歳: 女性36名, 19.2 ± 0.4 歳) である。身体的特性は表1に示した。

戸外に1周140mの平坦なトラック (図1) を設定し、このトラックを4~5周 (560~700m) する歩行運動と走行運動を負荷した。残り95m区

表1 被験者の身体的特性

	人数 (人)	身長 (cm)	体重 (kg)	BMI (kg/m ²)	最大酸素摂取量 (ml/kg/分)
男 性	15	170.3 \pm 5.7	64.1 \pm 5.8	22.1 \pm 1.6	52.3 \pm 7.8
女 性	36	160.5 \pm 4.5	55.5 \pm 5.7	21.5 \pm 2.1	42.1 \pm 5.4

平均値 \pm 標準偏差

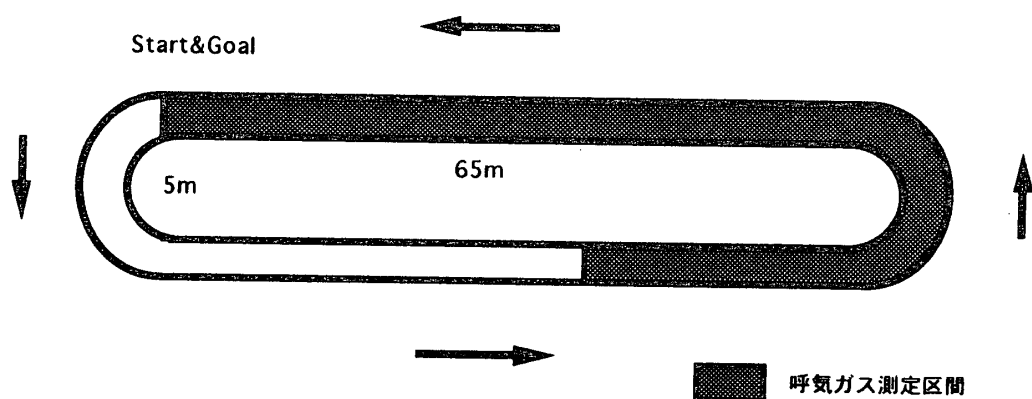


図1 トラックの概略図と進行方向 (1周140m)

間ではダグラスバッグに呼気ガスを採気し酸素摂取量(酸素消費量)を求めた。次に酸素1ℓあたりのエネルギー発生量を4.862Kcal¹⁷⁾としてエネルギー消費量を計算し、腰部に装着したカロリー計の表示値と比較した。カロリー計は運動開始時から終了時まで装着した。両者の消費カロリー比較は体重1kgあたり1分あたりのエネルギー消費量(Kcal/Kg/分)とした。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ン社製Kenzカロリーカウンターセレクト(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計と、基礎代謝量や運動によるエネルギー消費量(活動代謝量)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、厚生省報告の体表面積当たりの基礎代謝基準値¹³⁾より計算される。なお体表面積算出は、 $A=W^{0.444} \times H^{0.663} \times 88.83$ (A:体表面積cm², W:体重kg, H:身長cm)の式²⁾によ

た。活動代謝量は3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。したがって、総エネルギー消費量は基礎代謝量と活動代謝量の和に特異動的作用による代謝増量分を加えた次式によって算出されている。

$E=B+C+1/10E$ (E:総エネルギー消費量, B:基礎代謝量, C:活動代謝量, 1/10E:特異動的作用)²¹⁾

歩行および走行の速度については被験者自身に任せたが、常に一定速度で移動するように指示した。また運動強度を把握するために心拍数の測定も行った。心拍数の測定にはパルスウォッチMRC-1200(フィンランド製, 輸入元日本光電工業株式会社)を用いた。実験当日の天候は晴れ, 気温28~32℃, 湿度はおおよそ50%であった。なおダグラスバッグ等を装着した外観は図2に示した。

結 果

図3は酸素摂取量実測から求めたエネルギー消費量(X軸)とカロリー計によるエネルギー消費量(Y軸)の関係を歩行, 走行を同一グラフ上に示したものである。対象者数が少なかったことに加え、男女間それぞれの平均値に大きな差異がみられなかったことから今回は男女の区別なく表わした。(以下同様)歩行における酸素摂取量実測



図2 ダグラスバッグ等装着時の外観

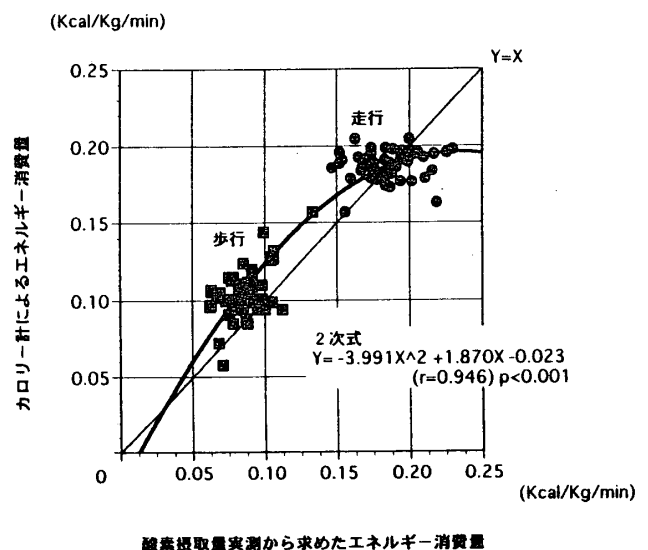


図3 酸素摂取量実測から求めたエネルギー消費量とカロリー計によるエネルギー消費量の関係

から求めたエネルギー消費量(Kcal/Kg/分)の幅は0.062~0.133にありその平均値は0.086±0.014であった。また走行でのその幅は0.147~0.226にありその平均値は0.186±0.019であった。カロリー計によるエネルギー消費量が酸素摂取量実測から求めたエネルギー消費量より多かった者は歩行で45名(88.2%)と多く、走行では27名(52.9%)ではほぼ半数であった。これらの結果を測定範囲内と限って関係式で表すと、両者間には $Y = -3.991X^2 + 1.870X - 0.023$ ($r = 0.946$, $p < 0.001$) の2次式が得られた。

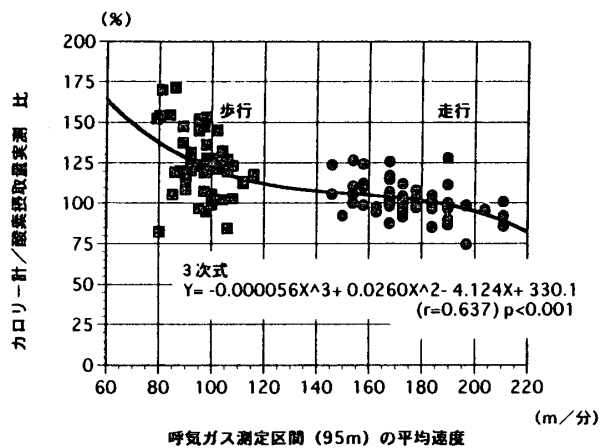


図4 速度別にみた酸素摂取量実測から求めたエネルギー消費量に対するカロリー計によるエネルギー消費量の割合

図4は酸素摂取量実測から求めたエネルギー消費量に対するカロリー計によるエネルギー消費量の割合を速度ごとに示したものである。速度は呼吸ガス測定区間(95m)の平均速度とした。歩行における速度の幅は80~116m/分であり、平均速度は96.0±8.5m/分であった。また、走行でのその幅は146~211m/分、平均速度は175.2±16.7m/分であった。歩行、走行を同一グラフ上に表わした。歩行、走行合わせた速度をX軸とし両者の割合(比)をY軸とした時の関係は $Y = -0.000056X^3 + 0.0260X^2 - 4.124X + 330.1$ ($r = 0.637$, $p < 0.001$) の3次式で表わすことができた。

なお、ゴール時の平均心拍数については歩行118.2±16.6拍/分(内訳:男性107.9±9.3拍/分、女性122.5±17.0拍/分)、走行173.4±13.1

拍/分(内訳:男性162.8±14.4拍/分、女性177.8±9.5拍/分)であり、歩行、走行とも女性の方が男性に比し高値を示した。また、平均的運動強度を安静時心拍数60拍/分としてカルボネンの式にあてはめると、歩行は最大酸素摂取量のおよそ40%、走行は80%に相当していた。

考 察

今回の歩行実験では、酸素摂取量実測から求めたエネルギー消費量に比しカロリー計によるエネルギー消費量が少なかった者は僅か4名(11.8%)であり、ほとんどの者はカロリー計によるエネルギー消費量が多かった。これは、対象者が体育専攻の学生であったため持久力の指標である最大酸素摂取量が同年代の平均値より高く²²⁾、同一負荷量であれば酸素消費量が少なく済み、結果として酸素摂取量実測から求めたエネルギー消費量の方が相対的に少なくなったためであるとも考えられる。しかし、本実験は湿度約50%と比較的低いものの気温28~32℃の高温炎天下で実施されたため、快適な生活環境下での実験に比べ酸素消費量は多くなるといえる。また、慣れない器具の装着に加え、ダグラスバッグと蛇管、コック合わせた1.0~1.2kgの加重負荷も酸素消費量を高める原因となる。そのため、本結果を対象者だけの問題として解決するには無理があると思われる。

ところで、歩行については本研究結果と同様、カロリー計によるエネルギー消費量が酸素摂取量実測から求めたエネルギー消費量より多いとする報告は幾つかみられる。高見ら²⁰⁾は20歳代の男女と40歳代女性を対象に、200m周回コースを用い60m/分、80m/分、100m/分の歩行実験を行いカロリー計の精度の検討したところ、性別、年齢にかかわらずカロリー計によるエネルギー消費量が酸素摂取量実測から求めたエネルギー消費量より多いと報告している。また、山田ら²⁶⁾は男女大学生を対象とした傾斜角0度のトレッドミル漸増負荷実験を行い、4~5km/時(67~83m/分)ではカロリー計によるエネルギー消費量が酸素摂取量実測から求めたエネルギー消費量に比し有意に高いと述べている。さらに、芝山ら¹⁹⁾も22~58歳の男性を対象に山田ら²⁶⁾に類似した方法によ

る実験を行った結果、カロリー計によるエネルギー消費量は酸素摂取量実測から求めたエネルギー消費量と極めて高い直線傾向 ($r=0.905$) があるとし、前者の値は後者の値のおよそ1.5倍に相当するとしている。しかし、本実験の歩行速度範囲内 (80~116m/分) での結果をみる限り、酸素摂取量実測から求めたエネルギー消費量に対するカロリー計によるエネルギー消費量の割合は概ね1.2倍と推定でき、芝山ら¹⁹⁾ が示した1.5倍よりは少なかった。このように、カロリー計によるエネルギー消費量が酸素摂取量実測から求めたエネルギー消費量が多いとする報告が多数を占めるものの、0.1Kcal/Kg/分以下の緩やかな運動 (80~120m/分) ではカロリー計の表示値をそのまま採用しても大きな誤差にはならないとする報告²³⁾ もみられ、必ずしも統一見解が得られているわけではない。とはいうものの総合的にみると、歩行に相当する運動係数が高すぎるためにカロリー計によるエネルギー消費量が酸素摂取量実測から求めたエネルギー消費量より上回ったのではないかとする考え²⁰⁾ には賛同できる。しかし、本実験の結果からも明らかなように個人差が大きいという事実も認識しておくことが大切である。

走行実験については、カロリー計によるエネルギー消費量が酸素摂取量実測から求めたエネルギー消費量より多い者と少ない者の割合はほぼ半数であった。しかし、図3からも明白のように酸素摂取量実測から求めたエネルギー消費量が約0.15Kcal/Kg/分以上 (速度約150m/分以上) の運動負荷であれば、カロリー計によるエネルギー消費量はほとんど変わらないとみる方が妥当であろう。

走行速度の上昇に伴い酸素摂取量実測から求めたエネルギー消費量は増加するが、一方カロリー計によるエネルギー消費量は抑制されるという報告は多くみられる。山田ら²⁰⁾ は8km/時 (133m/分) 以上ではカロリー計内蔵の加速度計が加速度変化に追従しないと、高見ら²⁰⁾ は150m/分を越えたあたりで限界に達していると述べている。また、渡辺ら²³⁾ は180m/分以上の速度ではカロリー計によるエネルギー消費量が抑えられるとしている。このように、走行速度にはばらつきが認

められるもののカロリー計が対応できる運動強度には限界が存在することが示唆されている。しかし歩行同様、走行においてもカロリー計によるエネルギー消費量は酸素摂取量実測から求めたエネルギー消費量の1.5倍であるとする報告もあり、今後さらなる検討が必要であろう。

ちなみに、本実験で用いたカロリー計に内蔵されている10段階の運動係数は、トレッドミルによる運動負荷と酸素消費量の関係から導き出されている¹⁶⁾。そのため、この運動係数を戸外運動にあてはめることに対してはやや疑問が残る。今後は同一被験者にトレッドミル運動と戸外運動を実施し、腰部上下振動に関する両者の差の有無を調べるとともに、それぞれの状況下での運動係数の妥当性について検討が望まれる。また、階段や坂登り・坂下り¹⁵⁾ など傾斜を伴う動作についても検討する余地があると思われる。

ところで、フィールド実験をより正確に実施するためには移動速度の維持が課題となる。今回の実験では、常に一定速度で移動するように指示したものの速度維持は被験者自身に任せた。そのため、呼気ガス測定を行った最後の1周で僅かながら速度が増加する傾向がみられた。今後は熟練したペースメーカーを付けるなど、常に同一速度を遵守するような配慮が必要である。

さて、戸外における酸素摂取量測定には本研究のようにダグラスバッグに呼気を採気する方法が一般的であるが、近年はフロースルー方式による携帯型酸素摂取量測定装置が開発され、酸素摂取量をより簡便に測定することが可能になっている⁸⁾²⁰⁾。また、より高い精度で運動時消費カロリーを求める試みとして、上下方向のみでなく前後、左右方向を組み合わせた3次元加速度センサーによるカロリー計も開発されている¹⁰⁾。さらに、加速度センサーを用いても測定不可能な静的要素の強い等尺性運動量を測定するために、体動センサー駆動型ペースメーカーのレートリスポンス機能を利用した測定法も検討されている⁴⁾。

様々な運動や動作のエネルギー消費量を、より高い精度で検出する試みは大いに歓迎すべきことではあるが、本研究で用いたような既存のカロリー計でもエネルギー消費量を比較的高い精度で

参考文献

定量できるため、運動継続の動機づけなどには有効²⁴⁾であると思われる。競技スポーツなどの激運動や階段や坂登り・坂下りなど傾斜を伴う動作、身体の左右の揺れ、ひねり動作、水平方向の動き、等尺性運動に対する消費量には信頼性に劣るものの日常生活での活動量の把握¹²⁾には有用であるため、今後さらに活用されることが期待される。

註

参考にした文献に用いられているカロリー計は必ずしも同一機種ではないが、本研究で採用したカロリー計と同じメーカーから発売されたものである。よって、カロリー計の仕組みや内蔵されている運動係数には機種による大きな差異はないものと考え具体的な機種は明記しなかった。

ま と め

本研究では、健康な短期大学生51名（男性15名、女性36名）を対象に戸外において歩行運動と走行運動を実施し、酸素摂取量実測から求めたエネルギー消費量とカロリー計（スズケン社製Kenzカロリーカウンターセレクト）によるエネルギー消費量の関係を検討した。結果の要約は以下のとおりである。

- 1) 酸素摂取量実測から求めたエネルギー消費量(X)とカロリー計によるエネルギー消費量(Y)には $Y = -3.991X^2 + 1.870X - 0.023$ ($r = 0.946$, $p < 0.001$) の関係が得られた。
- 2) 移動速度(X)と酸素摂取量実測から求めたエネルギー消費量に対するカロリー計によるエネルギー消費量の割合(Y)の関係は $Y = -0.000056X^3 + 0.0260X^2 - 4.124X + 330.1$ ($r = 0.637$, $p < 0.001$) で示された。
- 3) 歩行運動(速度80~116m/分)では、カロリー計によるエネルギー消費量が酸素摂取量実測から求めたエネルギー消費量より約20%上回った。
- 4) およそ150m/分以上の走行運動では、速度の上昇に伴い酸素摂取量実測から求めたエネルギー消費量の増加したが、カロリー計によるエネルギー消費量の増加は抑えられた。

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 船崎俊一, 江部克也, 柴田 昭, 矢沢良光, 土屋 厚, 高野千賀子, 林 千治, 豊嶋英明: カロリーカウンターによる動的運動時消費エネルギー量の測定に関する検討, 医学のあゆみ, 150(2): 161-162, 1989.
- 4) 船崎俊一, 林 千治, 高橋 稔, 宮島武丈, 小幡明博, 田辺直仁, 宮西邦夫, 和泉徹, 豊嶋英明: 体動センサー駆動型ペースメーカーを利用した運動強度及び運動量の連続的評価, 体力研究, 77: 145-154, 1991.
- 5) 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.
- 6) 波多野義郎: ペドメータによる歩数測定, 保健の科学, 30: 375-379, 1988.
- 7) 林 千治, 山上里美子, 野上春美, 田中明美, 青海明実, 政二文明, 宮西邦夫, 相崎俊哉, 田辺直仁, 船崎俊一, 和泉 徹, 柴田昭, 豊嶋英明: 簡易運動量測定器による運動量測定の意義について, 日循協誌, 28(2): 118-124, 1993.
- 8) 樋口隆尚, 田村俊世, 戸川達男: 携帯型酸素摂取量測定装置の評価と応用, 体力科学, 40(2): 195-201, 1991.
- 9) 星川 保: ペドメータに基づいた運動の消費カロリーの算出法とその問題点, 体育の科学, 36(11): 864-869, 1986.
- 10) 和泉 徹, 相崎俊哉, 林 千治: 心肺機能の強化を意図した運動強度, 運動量および心拍数, 血圧の同時長時間測定, デサントスポーツ科学, 14: 234-240, 1993.
- 11) Kashiwazaki, H., Inaoka, T., Suzuki, T.

- and Kondo, Y.: Correlations of pedometer readings with energy expenditure in workers during free-living dairy activities. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 54: 585-590, 1986.
- 12) 北浦 孝, 盛大衛, 吉野安之, 沼 哲夫, 藤原勝夫, 井篁 敬, 外山 寛, 高松昌宏: カロリーカウンターによる大学生の日常活動量と体育実技についての研究, *Ann. Sci. Kanazawa Univ.*, 29: 35-47, 1992.
- 13) 厚生省保健医療局健康増進栄養課編: 第四次改定日本人の栄養所要量, 第一出版(東京), 1989.
- 14) Laporte, R. E., Montoye, H. J. and Caspersen, C. J.: Assessment of physical activity in epidemiologic research: problems and prospects. *Public Health Rep.*, 100 (2): 131-146, 1985.
- 15) 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.
- 16) 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.
- 17) 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.
- 18) 大久保みたま, 岩田由紀子, 大関政康: 運動指導の負荷エネルギー量測定におけるカロリーカウンターの有用性, 栄養学雑誌, 52 (1): 25-28, 1994.
- 19) 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.
- 20) 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.
- 21) 寺尾俊彦, 住本和博: 簡易な消費カロリー測定器と摂取カロリー測定器の開発, 学校保健研究, 29 (suppl.): 109-110, 1987.
- 22) 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(東京), 1989.
- 23) 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.
- 24) 山田誠二: 身体活動消費エネルギー量の簡易測定法を用いての運動習慣獲得の動機づけ, 産業医科大学雑誌, 13(3): 235-240, 1991.
- 25) 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.
- 26) 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.
- 27) 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.