

# 歩行，および走行時における，身体重心鉛直方向加速度波形 全波整流平均値の関係

松原周信\*

## Relationship of averaged full-wave rectified value of vertical acceleration waveform at the center of body gravity between walking and running

CHIKANOBU MATSUBARA\*

**Abstract:** To investigate the relationship of averaged full-wave rectified value of vertical acceleration waveform at the center of body gravity between walking and running, 24 young female subjects executed 4 and 6 km/h walking, and 6 km/h running for the third consecutive minute on a horizontal treadmill. Acceleration sensor signal was input to A-D converter attached to a personal computer and data were stored in floppy disks. Averaged rectified acceleration values of 3 kinds of locomotion derived from software treatment were significantly correlated mutually, but insufficient to estimate one value from another with a high degree of accuracy. And both body height and weight were not correlated to acceleration, absolutely: acceleration values could not be calculated from these data. That is, acceleration depended on the individual variation of the movement structure of walking or running. Therefore, to estimate energy expenditure on an equal precision with heart rate method, all data of acceleration at various locomotion speed or style should be measured directly.

(Accepted September 10, 2004)

さきに，身体重心の鉛直方向加速度波形全波整流積分値を，1分ごと34時間あまりにわたって記録する携帯式の装置を開発し，これによって一日のエネルギー消費量を推定できることを報告<sup>1)</sup>した。その際，対象とする個人一人ずつについて，エネルギー消費量の，低速から高速にいたる歩行および走行時における，身体重心の加速度波形全波整流積分値への回帰直線を用いた。この回帰直線の方程式が個人ごと大幅に異なるのであれば，これを一人ずつについて求める必要があり，そうでなければ共通の方程式を用いることができる。

また，加速度波形全波整流積分値が，仮に身長，体重と何らかの関係の有るなら，これらの数値をもとに回帰直線の方程式を推定できる可能性がある。なお，回帰直線の方程式が個人ごとに異なっても，ある速度での歩行時における加速度波形全波整流積分値から，他の速度での歩行あるいは走行時における値を推定することができれば，一人ずつについて回帰直線を求めるにしても，

その手順を大幅に簡略化できる。

これらの可能性の有無を明らかにするため，歩行および走行時における，身体重心加速度波形全波整流平均値を求め，検討を加えた。

## 方 法

被験者24名は全員女子学生で，身体的特徴は第1表に示した通りであった。なお，被験者を選定する際，身長と体重が広範囲に分布するよう配慮した。これらの被験者に，第1図(a)に示した通りの加速度センサ（Analog Devices ADXL150）を実装した，21cm×21cm，厚さ5mmのベニヤ板を，腰の後ろ側に，鉛直方向の加速度を検出できるよう装着させた。その際，板の上部と下部それぞれの両端に設けたスリットに，伸縮性のある35mm×380mmの野球用ストッキングガーター（アシックス RSG304）2本を継ぎ足してベルト状にしたものを

\*京都府立大学人間環境学部食保健学科健康科学研究室

Laboratory of Health Science, Department of Food Sciences and Nutritional Health, Faculty of Human Environment, Kyoto Prefectural University

Table 1 Physical characteristics of the subjects

	height (cm)	weight (kg)	age (yrs)
mean	159.0	51.7	20.2
SD	4.58	6.31	0.42
min	151.3	41.9	20
max	167.0	63.0	21

n=24 All subjects were females.

それぞれ通し、板を身体にしっかり固定した。センサの出力は、第1図(b)のSW1を開きSW2を閉じてローパスフィルタ兼アンプと交流結合し、アンプの出力を、パーソナルコンピュータ (NEC PC9801NX/C) に接続したI/O拡張ボックス (アドテックシステムサイエンス ANE-451) に実装した12ビットA-D変換ボード (カノープス ADX-98H) に入力<sup>2)</sup>した。なお、ここで用いたアンプの特性は、出力の振幅をA-D変換ボードに適合させる以外は、先に開発した携帯式記録装置<sup>1)</sup>のアンプとできるだけ一致させた。

測定にあたっては、水平に保ったトレッドミル (日本

光電 STM-1500) 上で、時速4km、および6kmの歩行、時速6kmの走行を、1分間ずつ連続して行わせた。それぞれの1分間のうち45秒経過後の8.192秒間、身体重心の鉛直方向の加速度を2msごとに4096回測定し、フロッピーディスクに記録した。測定後、加速度センサを被験者の身体からはずして静止させ、8.192秒間、ベースラインのデータを記録した。ついで、アンプの交流結合を直流結合に切り替え、8.192秒間、+1gのデータを記録し、さらにセンサの上下を逆にして、-1gのデータを記録した。その後、キャリブレーション時のデータをもとに、ソフトウェアによって全波整流ならびに平均値の算出を行い、12ビットA-D変換データの単位を、加速度の単位gに変換した。

### 結果

時速4km、および6kmの歩行、および時速6kmの走行における、身体重心の鉛直方向加速度波形全波整流平均値の、全被験者における平均値と標準偏差は第2図の通りで、3者いずれの間にも0.1%水準で有意差が認められ

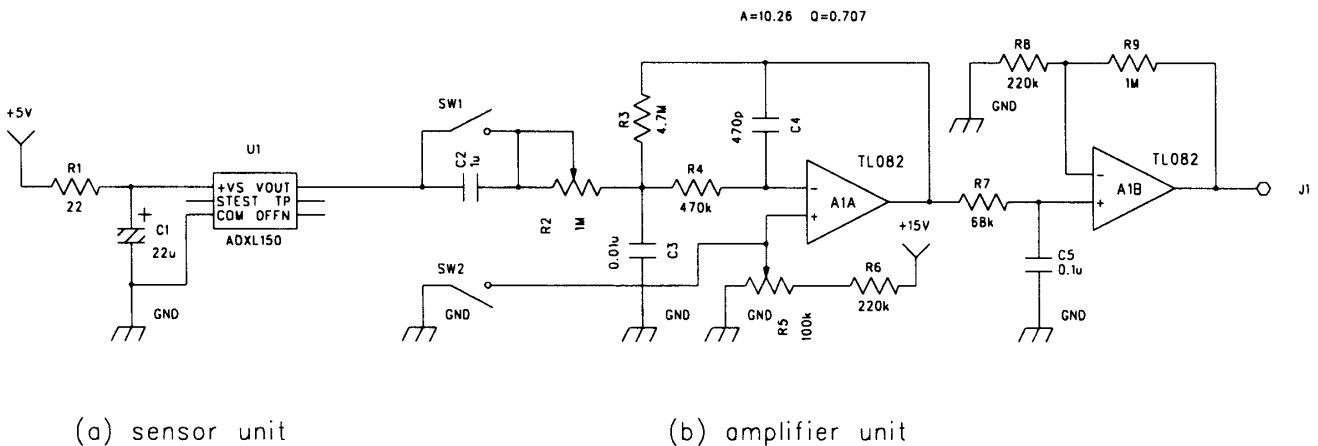


Fig 1 Circuit diagram of acceleration sensor and amplifier unit. The sensor unit was attached to the back waist of each subject with two elastic belts, firmly.

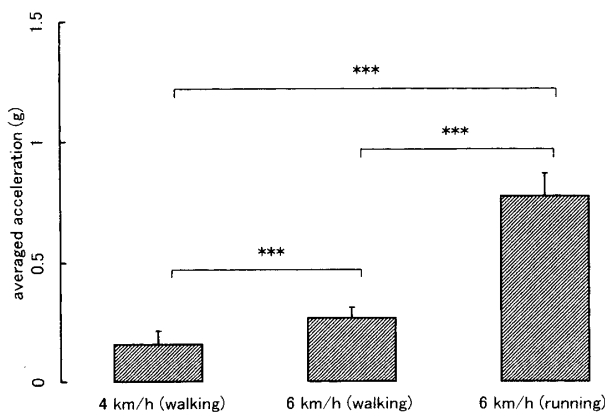


Fig.2 Averaged full-wave rectified value of vertical acceleration waveform at the center of body gravity. Mean and SD values are presented.

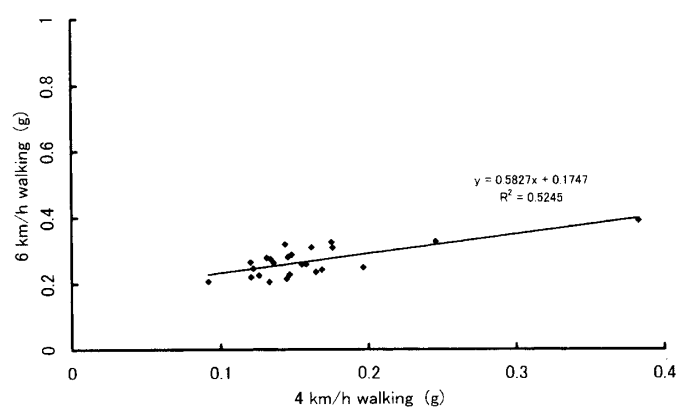


Fig 3 Relationship of averaged full-wave rectified value of acceleration at the center of body gravity between 4 km/h walking and 6 km/h walking.

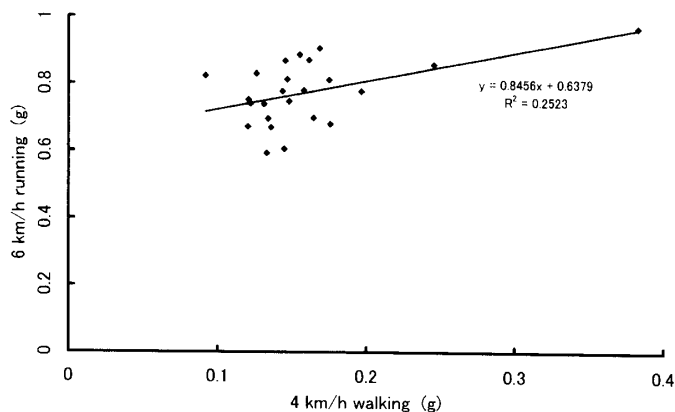


Fig 4 Relationship of averaged full-wave rectified value of acceleration at the center of body gravity between 4 km/h walking and 6 km/h running.

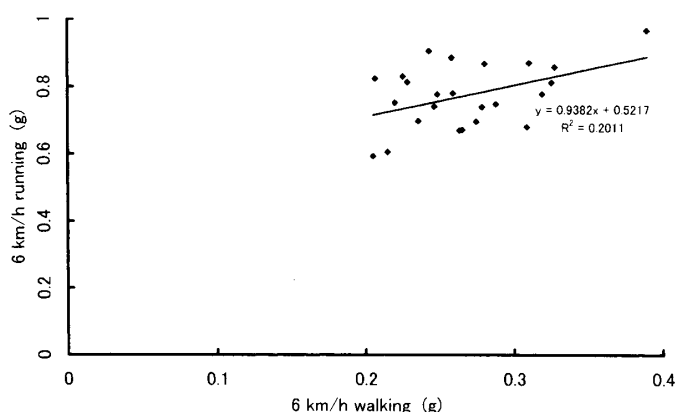


Fig 5 Relationship of averaged full-wave rectified value of acceleration at the center of body gravity between 6 km/h walking and 6 km/h running.

Table 2 Correlation matrix of averaged acceleration

	4 km/h walking	6 km/h walking	6 km/h running	6 km/h running -6 km/h walking
4 km/h walking	—			0.1746
6 km/h walking	0.7242***	—		-0.0330
6 km/h running	0.5023*	0.4484*	—	0.8785***
body height	0.2375	-0.0177	-0.0184	-0.0112
body weight	0.0580	-0.3063	-0.0878	0.0655

\* and \*\*\*\* represent significant correlation at  $p < 0.05$  and  $p < 0.001$ , respectively

た。また、これら3種類の歩行ならびに走行データ相互間の、全被験者についての散布図を、それぞれ第3, 4, 5図に示した。時速4kmの歩行において、一番大きな値は0.3827g, 次に大きな値は0.2456gであったが、グラフス・スミルノフ棄却検定の結果、2個の値はいずれも異常値とは判定されなかった。

なお、3種類の歩行および走行時それぞれの身体重心の鉛直方向加速度波形全波整流平均値、ならびに、時速6kmにおける、走行時の平均値から歩行時の平均値を差し引いた値、さらに、被験者の身長、体重それぞれの間の相関係数は、第2表に示した通りであった。すなわち、時速4kmと6kmの歩行における平均値の相関は0.1%水準で有意、時速4kmの歩行と時速6kmの歩行、ならびに時速6kmの歩行と時速6kmの走行時の相関は、5%水準で有意であった。時速6kmの走行時の値と、時速6kmの走行時における、走行時の平均値から歩行時の平均値を差し引いた値の相関は、0.1%水準で有意であった。身長、および体重に関しては、いずれの項目とも有意な相関はなかった。

また、時速4, および6km歩行時における両者の相関は、仮に、時速4km時の値の一番大きい被験者を除くと、1%水準で有意、大きい方から2人の被験者のデータを除くと、5%水準で有意であった。

### 考 察

時速4kmおよび6kmの歩行時、時速6kmの走行時いずれも、第2図に示されている身体重心の鉛直方向加速度波形全波整流平均値の全被験者における平均値と標準偏差を見るかぎり、被験者間の変動は大きくない。また、第3図、および第2表の通り、時速4, および6km歩行時のデータ間の相関は、きわめて高度に有意である。ただし、第3図に示されている通り、全被験者の平均値よりかなり大きい値を示す少数の被験者が存する。前述の通りこれら2名のデータは異常値ではないが、時速4kmと6kmの歩行における平均値の相関が0.1%水準で有意であるのは、このような被験者をも含めた結果であって、それ以外の被験者に関しては、相関は5%水準で有意である。それでは、加速度からエネルギー消費量を推定するとき、対象とする個人すべてに同一の回帰直線を適用できるであろうか。あるいは、身長ならびに体重の値から、この回帰直線を求めることができるであろうか。また、時速4kmの歩行時における加速度を測定すれば、時速6kmにおける歩行時の値は測定しなくても、後者の前者への回帰直線を用いて推定できるであろうか。さらに、歩行時の加速度を測定すれば、走行時の値を推定できるであろうか。

これらの問題は、当然ながら、誤差をどの程度許容す

るかにかかっている。たとえば、エネルギー消費量を、加速度ではなく心拍数から推定することが広く行われているが、そのとき、ほぼ例外なく被験者一人一人について回帰直線が作成され、エネルギー消費量と心拍数の相関係数は、たとえば0.9933~0.9956<sup>3,4,5)</sup>程度である。また、集団としての相関係数は0.999<sup>5)</sup>程度で、今回得られた加速度に関する相関係数と比較しかなり高い値であるが、それにもかかわらず、少なくとも一人一人のエネルギー消費量を求める場合に、対象とする個人すべてに同一の回帰直線が適用されることはない。加速度からエネルギー消費量を求める場合にも、心拍数におけるとほぼ同様の基準を適用すればよいと考えられる。

なお、今回、呼気の実験によるエネルギー消費量の測定は行っていない。ただし一般に、歩行によるエネルギー消費量には個人差があるが、体重1kgあたりにすると大変似通った値になり<sup>6)</sup>、このことは、歩行の機械的効率がほぼ一定、すなわち仕事はエネルギー消費量の一次関数として表現され得ることを意味する。なお、仕事は力と距離の積、力は質量と加速度の積であることより、仕事は質量と加速度と距離の積である。また、距離の鉛直成分に関し、仕事はこれと正比例するので、歩行あるいは走行動作における身体各部分の変位が身長と正比例するならば、仕事は身長に正比例する。そうであれば、加速度波形全波整流平均値は、身長的一次関数になるはずである。ところが、第2表に示した通り、身長と加速度波形全波整流平均値の相関係数は、時速4kmの歩行においては0.2375、時速6kmの歩行においては-0.0177、また、時速6kmの走行においては-0.0184と、いずれも相関はほとんどないといってよく、少なくとも有意ではなかった。このことは、加速度波形全波整流平均値の大小は、身長と関係がなく、歩行あるいは走行の運動構造における個人差によって決まることを意味する。すなわち、加速度からエネルギー消費量を推定するとき、対象とする個人すべてに同一の回帰直線を適用することは妥当でない。さらに、身長の数値をもとに、エネルギー消費量の、身体重心の加速度波形全波整流積分値への、実用に供しうる回帰直線の方程式を推定することは不可能である。

一方、同じく第2表の通り、体重と加速度波形全波整流平均値の相関係数は、時速4kmの歩行においては0.0580、時速6kmの歩行においては-0.3063、また、時速6kmの走行においては-0.0878と、いずれも相関はほとんどなかった。このことは、体重1kgあたりの加速度波形全波整流平均値の個人差が小さく、かつ体重1kgあたりのエネルギー消費量と体重1kgあたりの加速度波形全波整流平均値の相関が高くても、逆に、単に体重と加速度波形全波整流平均値の相関が低いにすぎなくてもあり得ることで、確率的には、前者の可能性は小さいといわざるを得ない。すなわち、体重の数値をもとに、エネルギー消費量の、身体重心の加速度波形全波整流積分値への、実用に供しうる回帰直線の方程式を推定すること

が可能であるとはいえない。

また、時速4kmと6kmにおける加速度の値の相関が0.1%、1%、あるいは5%水準で有意ということは、もちろん相関があることを示すものではあるが、有意水準が0.1%であっても0.7242という相関係数の値は、時速4kmでの歩行時のデータから時速6kmの歩行時のデータを推定し、その値をもとにエネルギー消費量を求めた場合、通常の手順で心拍数からエネルギー消費量を推定する場合と比較し、かなり大きな誤差を見込まなければならないことを意味する。また、時速4kmあるいは6kmの歩行時と、時速6kmの走行時の加速度の間の相関は、いずれも5%水準で有意であったが、相関係数は0.5023ならびに0.4484で、歩行時のデータから走行時のデータを推定し、その値をもとにエネルギー消費量を求めるとすれば、これも、通常、心拍数からエネルギー消費量を推定する場合と比較し、かなり大きな誤差を見込まなければならない。なお、これらのことは、歩行の速さに起因する運動構造の相違、あるいは歩行と走行における運動構造の相違に個人差があり、そのため加速度波形全波整流平均値への反映のされ方に差異が生じることを意味する。

つぎに、時速6kmの走行時の値と、時速6kmの走行時における、走行時の平均値から歩行時の平均値を差し引いた値の相関が、0.1%水準で有意であったことは、両群ともに時速6km走行時のデータが含まれており、また6km走行時の値に対して、歩行時の値の割合が小さいため生じた結果にすぎず、加速度からエネルギー消費量を推定するに際し、特に意味はない。また、加速度の大きさの評価に、実効値ではなく全波整流平均値を用いたのは、さきに開発した記録装置において、全波整流積分値を採用したことに合わせたものであり、その際そうした理由は、加速度がそのまま力と正比例するからである。また、被験者を、全員年齢の似通った同性、同職業の者としたのは、年齢、性別、あるいは職業が交絡因子となる可能性を排除するため、年齢、性別あるいは職業の異なる場合にも結果は同様であると考えた。

ところで、今回、一定速度での歩行時、および走行時の加速度を測定したが、エネルギー消費量は測定せず、また、加速度の波形については無視し全波整流平均値についてのみ検討した。したがって、ガス分析結果や加速度波形をも考慮する場合についての可能性に言及することは避けるが、少なくとも、ある、一種類の、一定速度の歩行における加速度の全波整流積分値、あるいは身長、体重をもとに、エネルギー消費量の、身体重心の加速度波形全波整流積分値への回帰直線を求め、これを用いて対象とする個人の値を推定することは不適切で、通常の手順で心拍数からエネルギー消費量を求める方法と比較し、大きな誤差を生じることとなる。やはり、低速から高速にいたる何段階かの歩行および走行時における、身体重心の加速度波形全波整流積分値を一人一人について求め、これを用いるべきである。

## 文 献

- 1) 松原周信 (2001) 超小型無拘束心拍数，体温，歩数，身体活動量記録装置の開発 平成7年度科学研究費補助金 (試験研究B2) 研究成果報告書
- 2) 松原周信 (2001) パーソナルコンピュータとプリンタによるデータレコーダの試作 京府大学術報告 人間環境学・農学 53 9-16
- 3) 松原周信，瀧本義彦，山本俊明 (1988) 枝打ち機械を使用する作業の強度 京府大学術報告 理学・生活科学 39 53-58
- 4) 松原周信，瀧本義彦 (1990) 未熟練林業労働者における枝打ち作業の強度と功程 京府大学術報告 理学・生活科学 41 67-72
- 5) 松原周信，瀧本義彦 (1995) 作業対象物の身体に対する高さと作業強度の関係 京府大学術報告 理学・生活科学 46 15-18
- 6) ロドルフォ・マルガリア著 金子公宥訳 (1978) 身体運動のエネルギー ベースボールマガジン社 p92