

原著

## 携帯型 3 軸加速度計を用いた歩行状態の計測 —加速度による加齢の影響の評価—

谷川智宏<sup>\*1</sup> 太田 茂<sup>\*2</sup> 長尾光城<sup>\*3</sup> 宮川 健<sup>\*3</sup>

### 要 約

3 軸の携帯型加速度計を用いて、歩行時の立体的な体の揺れに関する正確な情報を得るため、若年の被験者に対し歩行を制限する負荷を加えて加齢の影響を模擬した状態で歩行状況を計測し、その結果を解析した。さらに、幅広い年代の被験者について歩行状態での加速度計測をし、結果と年齢の関係を解析した。

歩行を制限する各種負荷に関しては、姿勢等の変化では調整しきれない足関節の錘が膝関節屈曲制限装置や腰背部の錘よりも歩行に大きな影響を及ぼすことが判った。また、20代から60代までの被験者に対し実施した実験では年齢差よりも個人差が目立った。結論として、3 軸加速度計の計測精度は高く、各種負荷を用いた実験によって脚筋力や平衡機能の低下が推測できることが判った。しかし、個人差が極めて大きいので加齢の影響を単純に判断することは難しいと考えられる。

### はじめに

本格的な高齢化社会が到来し、今なお進行している。それに伴い、独居高齢者の比率も年々増加している<sup>1)</sup>。高齢になれば体力低下などが疾病や事故につながるケースも少なくない。そのような現状から、不安を抱えつつ日常生活をおくっている高齢者の状態を常に把握する必要がある。

高齢者の生活状態を正確に知るために、筆者らは数年にわたり独居高齢者宅内に設置した赤外線センサを用いた宅内行動のモニタリングを行っているが、得られる情報には限界がある。そこで、より多くの情報を得るために携帯型の加速度計を用いた実験も並行して行っている。これまでは加速度計を用いて主に運動強度や運動量の計測を行ってきたが、今回は、若年の被験者に対し負荷を加えることにより高齢者の状態を模擬した状態での歩行時の加速度を計測した。さらに、若年層から高齢までの幅広い年齢層の被験者について、歩行時の計測を行い、加速度と年齢の関係を解析した。

### 方 法

#### 1. 実験装置

加速度の計測には、筆者らが以前に開発した加速

度計<sup>2)</sup>を用いた。装着位置も以前と同様に、体の重心に近い腰背部に装着した。

加速度計を腰背部に装着すると、直立状態で前後方向が X 軸、上下方向が Y 軸、左右方向が Z 軸に一致する。この加速度計の出力信号を RS-232C インタフェースを介して携帯情報端末 ( Handspring 社製 VISOR Deluxe ) に記録した。加速度計、携帯情報端末とも電池駆動式であるため、計測時間は 8 時間程度である。

また、歩行速度を一定に保つため、小型のトレッドミ ( OMRON Healthful Walker ) を用いた。

#### 2. 計測方法

##### 1) 実験 1

加速度計を用いて被験者の体力変化を見つけることの可能性を判断するため、被験者に以下の負荷を課した状態での歩行時の加速度を計測した。この実験では、20 歳代の被験者 8 名 ( 表 1 ) に対し、① 3 軸加速度計を腰背部に装着した状態を基準 ( 無負荷時 ) として、② 左右足関節それぞれに 1 kg の錘装着、③ 左右足関節それぞれに 2 kg の錘装着、④ 左右膝関節それぞれに屈曲角度を 50 度以下に制限する装置装着、⑤ 腰背部付近に 5 kg の錘装着、⑥ 腰背部付近に 10 kg の錘装着という 5 種類の負荷を課した状態で、それぞれ 3 km/h ( 50 m/min ) の速度で 5

\*1 川崎医療福祉大学大学院 医療技術学研究科 医療情報学専攻 \*2 川崎医療福祉大学 医療技術学部 医療情報学科

\*3 川崎医療福祉大学 医療技術学部 健康体育学科

(連絡先) 谷川智宏 〒701-0193 倉敷市松島288 川崎医療福祉大学

分間歩行してもらい、その中央部の3分間における上下、前後、左右の3軸加速度変化を解析した。本研究の最終的な対象は高齢者であることから、先行研究<sup>3)</sup>で報告されている一般人の平均的な歩行速度80m/minよりも、遅めの歩行速度に設定した。

表1 実験1の被験者

	N	Age
Male	5	23.4 ± 3.4
Female	3	21.0 ± 0.0
		(mean ± SD)

## 2) 実験2

加齢による歩行状態の変化を判断するため、幅広い年齢層の被験者に対し低速および高速歩行時の加速度を計測した。この実験では表2に示す21歳から64歳までの31名の健康な男女を被験者を選んだ。各被験者は実験1と同様に3軸加速度計を腰背部に装着し、3 km/hと5 km/hの2種類の歩行速度における加速度変化を1分間計測した。

以上述べた実験では、趣旨や方法を事前に説明し、被験者本人の同意を得た上で実施した。実験内容に関し個人のプライバシーに触れる事項は特になく、高齢の方にトレッドミル上の歩行を依頼した場合には、事故が起こらないよう周りに人を配置し、万一の場合に備えると同時に計測時間も適宜調整した。

表2 実験2の被験者

	N	Age
Male	12	38.3 ± 16.7
Female	19	41.4 ± 16.8
		(mean ± SD)

## 結 果

### 1) 実験1

若年の被験者に対し、歩行を制約する各種の負荷を装着したときの加速度変化を図1に示す。各部分図の縦軸は平均加速度、横軸は無負荷も含めた負荷の種類で、左から①無負荷時、②左右足関節それぞれに1 kgの錘装着時、③左右足関節それぞれに2 kgの錘装着時、④左右膝関節それぞれに屈曲角度制限50度の装具装着時、⑤腰背部に5 kgの錘装着時、⑥腰背部に10 kgの錘装着時に対応している。なお、図の(a)は前後(X)軸、(b)は上下(Y)軸、(c)は左右(Z)軸、(d)はX、Y、Z各軸の値を要素とするベクトルの大きさ(以下3軸合成値という)に関するものであり、それぞれの負荷に対する平均加速度の変化を示している。

この実験では足関節の錘が最も顕著に歩行に影響し、多くの被験者の体の揺れは上下軸以外の軸について、無負荷時<1 kg 負荷時、1 kg 負荷時<2 kg 負荷時となる傾向を示した。特に、前後軸については、被験者全員、無負荷時<1 kg 負荷時<2 kg 負荷時であった。

これに対し、膝関節装具はどの軸についても個人差が大きく特に顕著な傾向は見当たらない。腰背部の錘については、殆どの被験者の前後、上下軸および3軸合成値は、5 kg 負荷時<10 kg 負荷時という傾向を示すが、左右軸については半数の被験者に反対の傾向が認められる。また、多くの被験者について、殆どの軸において、無負荷時>5 kg 負荷時という傾向が認められる。

### 2) 実験2

被験者の年齢と左右(Z)軸の平均加速度の関係を図2に示す。(a)は3 km/h歩行時、(b)は5 km/h歩行時であり、両図の縦軸は平均加速度、横軸は年齢である。いずれの図においても各年代の被験者の平均加速度は広く分散しており加齢の影響を見つけることは難しいが、(a)については平均加速度の最小値は年齢に関係なく似通った値を示すという特徴がある。

## 考 察

実験1で用いた負荷は脚筋力や平衡機能の低下を模擬したもので、多くの被験者において負荷の影響が認められたが、膝装具についてはほとんど影響が認められない被験者がいた。こうした結果は速度を維持するため使用したトレッドミルの影響と思われる。つまり、脚筋力や姿勢保持能力に余力がある被験者は歩き難い状況でも、環境に適応するために大きな変化が現れないものと推測される。勿論、極めて強い負荷を課すか、極度の疲労状態下で計測すれば適応能力の影響を排除できると考えられるが、こうした極限状態での計測には転倒等の事故多発が予想されるため、トレッドミルを用いる実験には馴染まない。

また、ヒトは腰背部の錘に対しては、上体の姿勢変化、つまり上半身の前屈で錘の重心を体の重心上に重ねて対処する習性がある。このため、ある程度以下の負荷に対しては大きな影響は現れず、軽い錘装着時の上下方向の揺れが無負荷時より少ない人も多い。これが無負荷時>5 kg 負荷時という傾向の原因であり、被験者の体が錘に適応した結果と思われる。もちろん、適応能力の上限を超える負荷、例えば、極端に重い錘は大きな影響を与えると予想されるが、こうした負荷はトレッドミルを使用する場合

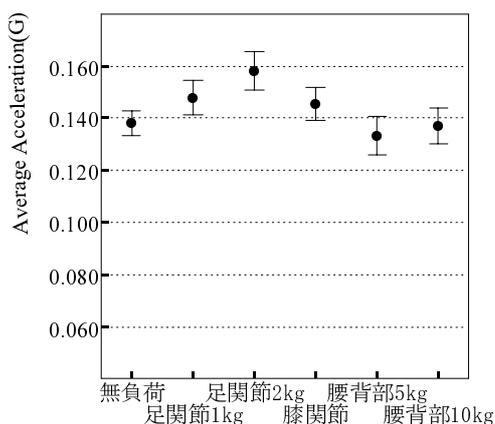


図1-a 前後方向

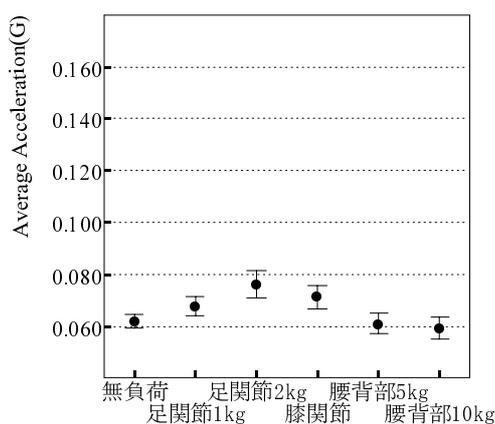


図1-b 上下方向

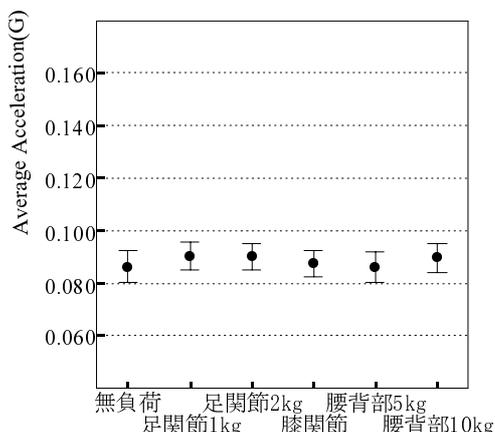


図1-c 左右方向

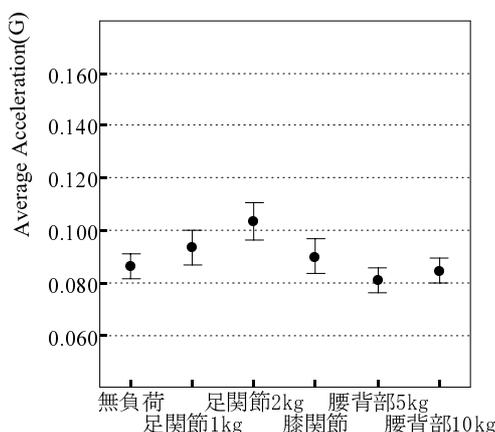


図1-d 3軸の合成値

には事故発生の可能性が高く危険なので実施していない。

これに対し足関節の踵は姿勢では補正しきれない負荷であり、上下軸以外の軸では無負荷 < 1 kg 負荷 < 2 kg 負荷という妥当な結果を得た。これらの結果は統計的にも 5% の水準で有意である。また、図には表示していないが前後軸と 3 軸合成値に関しては全員のデータが上記傾向に一致している。例外となった上下軸も無負荷時 < 1 kg 負荷時は明白である。しかも、上下軸については足関節の踵だけでなく、全ての負荷に関し変動が少ない。これは、3 km/h 程度の速度では、負荷の有無にかかわらず、上下動を変化させる要因が乏しいためと思われる。

腰背部の踵については、無負荷時と負荷装着時とで多くの被験者が姿勢を変化させているので単純な比較はできないが、こちらも、前後軸以外の軸につい

ての平均加速度は、10% の有意差で 5 kg 負荷 < 10 kg 負荷の傾向を示し、少なくとも負荷の影響はあると判断できる。

実験 1 によって、若い人でも筋力低下に相当する状況下では歩き方が変化し、それが各軸の平均加速度の変化として捉えられることが分かった。これは老化によって脚筋力や平衡機能が低下した場合にも想定できる状況である。従って、3 軸加速度計は、脚筋力や平衡機能の加齢による影響を判断する有力な情報源となりえる。ただし、その影響がどの軸に強く作用するかは個人に依存する。

図 2 から加齢の影響を見つけることは難しく、同年齢であっても、普段の運動習慣や基礎体力等の影響により個人差が大きいことが明らかになった。図中で各年齢で最小値に対応する被験者は概ね日頃から体を良く動かしている人たちで、これらの図は、

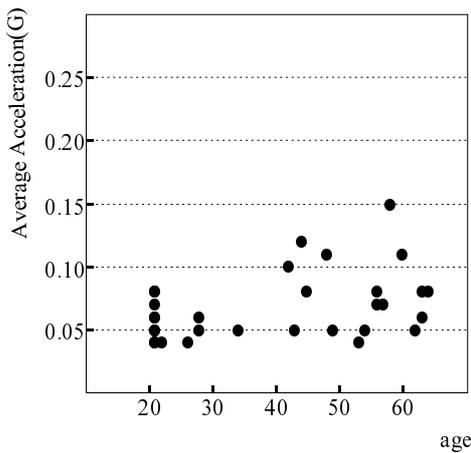


図2-a 左右方向の平均加速度 (3km/h)

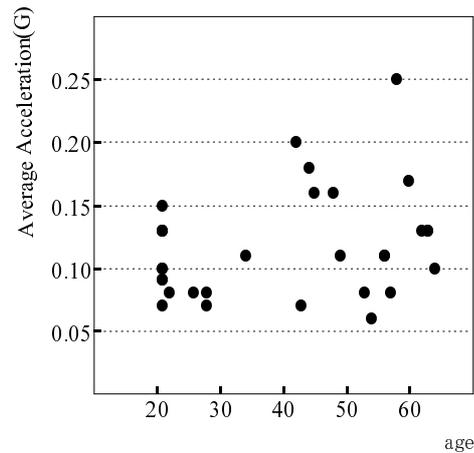


図2-b 左右方向の平均加速度 (5km/h)

日々の努力によってある程度まで体力の低下が防げるという事実を示しているものと思われる。

3 km/h 歩行時の左右軸と前後軸の平均加速度の比を図3に示す。図の縦軸は比率、横軸は5歳刻みの年齢となっている。図中の点が少ないのは被験者を5歳毎にグループ化し、各年齢グループ内の平均値で示したためである。左右軸/前後軸比が狭い範囲に集中する理由は2本の足で歩くという人間の特性上、一般の歩行時の揺れは前後左右が同期しているためと思われる。しかし、図2から推測できるように、この比率は下肢や腰部の機能低下により変化することから、健康状態の指標としての役割を果たすことが期待できる。その意味で、図中の55歳以上の値がやや高いことは興味深い。

### 結 論

実験1から、若年の人でも歩行困難な状況下では加速度の計測値が変化することが明らかになった。利用した負荷は脚筋力や平衡機能の低下時を模擬するもので、この結果は加齢による脚筋力や平衡機能の変化が3軸加速度計で判断できる可能性を示唆している。

独居高齢者の状態を知る上で歩行状況や運動強度の大小は重要な情報であるが、従来は、フォースプレートやビデオカメラを使うもの、呼吸を溜める大きな袋を背負うものなど身体的あるいは経済的負担が大きい測定方法が多かった。一方で、万歩計などの簡便なものでは情報が少ない。つまり、十分な情報を提供でき、しかも、簡便な計測手段は少なかった。その点、3軸加速度計は量産によるコスト削減が期待でき有望と思われる。

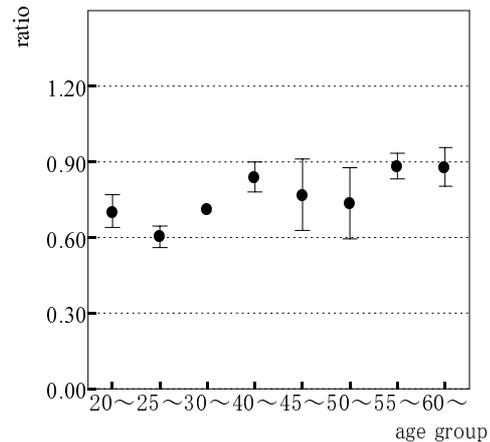


図3 年齢層別の左右軸と前後軸の平均加速度比

実験2から、20歳代から50歳代までの年代では、実際の年齢よりも普段の運動習慣や基礎体力等の属人的要素の影響の方が大きいことが分かった。従って、加速度計で加齢の影響を判断することは現時点では難しいと言わざるを得ない。しかし、ある高齢者を計測した際に、歩行姿勢に加齢の影響が認められ、また、疲労に至る時間が短かったことから、高齢者に対する加速度計測が無意味とは思えない。ただし、高齢者の状態把握という用途を念頭におくなら、トレッドミルや計測時間等の計測環境を見直し、何処でも何時でも実施できる手軽で安全な計測方法を確立する必要がある。

本研究は平成13年度川崎医療福祉大学総合研究の助成金によるものであることを付記して感謝の意を表します。

## 文 献

- 1) 厚生労働省 平成12年 国民生活基礎調査の概況(Ⅲ 65歳以上の者のいる世帯)  
<http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/k-tyosa/k-tyosa00/65-1a.html> [平成14年4月現在]
- 2) 谷川智宏, 太田茂, 長尾光城: 携帯型 3 軸加速度計を用いた運動量計測への試み, 川崎医療福祉学会誌, 11(2), 313-318, 2001.
- 3) 杉山充宏, 桐島日出夫, 大八木達也: 歩行のエネルギー消費. 人間工学, 17, 259-265, 1981.

(平成14年5月31日受理)

## A Measurement of a Walk Movement Using a Portable Three Dimensional Accelerometer

### — Evaluation of Influence of Aging by Acceleration —

Tomohiro TANIKAWA, Shigeru OHTA, Mitsushiro NAGAO and Takeshi MIYAKAWA

(Accepted May. 31, 2002)

Key words : PORTABLE THREE DIMENSIONAL ACCELEROMETER,  
ACCELERATION, AVERAGE ACCELERATION

#### Abstract

The purpose of this study is to obtain more accurate information from the shake of a three-dimensional body when walking with a portable three dimensional accelerometer. We measured walking of the young subjects who imitated the influence of the aging adding the load in which walking was limited. The result was analyzed. In addition, we did the walking measurement to the subjects at various ages with an accelerometer, and the relation between the result and the age was analyzed.

It has been understood that the weight of the ankle joint, which cannot correspond well to the change in posture etc., influences walking for various loads in which walking is more limited than the weight of the gonycampsis restriction equipment and the waist dorsal. Moreover, individual variations stood out more than age differences in the experimental results executed on the subjects from one's twenties to one's sixties.

In conclusion, the portable three dimensional accelerometer has a high accuracy for measurement, and has understood the decrease in the leg muscle force. The equilibrium function can be guessed by the experiment which uses various loads. However, because the individual variation is extremely large, it is thought that it is difficult to judge the influence of the ageing process so simply.

Correspondence to : Tomohiro TANIKAWA Doctoral Program in Medical Informatics, Graduate School of Medical Professions, Kawasaki University of Medical Welfare Kurashiki, 701-0193, Japan  
(Kawasaki Medical Welfare Journal Vol.12, No.1, 2002 103-107)