

トレッドミルの不規則的変速に伴う歩行時の身体動揺  
 -高齢者の歩行能力向上を目的とした新型トレッドミルの開発と効果-

Swaying of the body while walking on adjustable-speed treadmill  
 -Development of a new treadmill for improving the walking ability of elderly persons-

永吉 英記\*, 渡辺 剛\*\*, 清水 敏寛\*\*\*  
 松岡 正夫\*\*\*\*, 山内 忠行\*\*\*\*, 若松 宏行\*

Hideki NAGAYOSHI\*, Tsuyoshi WATANABE\*\*, Toshihiro SHIMIZU\*\*\*  
 Yukio MATSUOKA\*\*\*\*, Tadayuki YAMAUCHI\*\*\*\* and Hiroyuki WAKAMATSU\*

推薦評議員：渡辺 剛

Abstract

The objective of this study was to compare the characteristics of body sway while walking on a treadmill with either a fixed speed or changing speeds.

We evaluated body sway using a small accelerometer attached to the waist by a belt. Composite acceleration (Gxyz), acceleration along the x-axis (Gx), acceleration along the y-axis (Gy) and acceleration along the z-axis (Gz) were obtained using the small accelerometer for comparison. We recruited six subjects and measured 30 minutes of walking on a treadmill, once at a fixed speed and once with changing speeds. Consequently, Gy at changing speeds was significantly lower than that at a fixed speed ( $P < 0.05$ ), although Gxyz, Gx and Gz did not differ significantly. Over time, Gx and Gy at changing speeds were significantly lower than those at changing speeds (Gx [15-20 minutes], Gy [10-15 minutes; 15-20 minutes], both were  $P < 0.05$ ), while Gz was significantly higher (Gz [10-15 minutes; 15-20 minutes],  $P < 0.05$ ). We concluded that, in the case of walking on a treadmill at changing speeds, adaptation to the changing speeds was seen over time, resulting in less swaying of the body compared to walking at a fixed speed.

はじめに

これまでの一般的なトレッドミルは、一定速に回転するベルト上での歩行・走行運動を行うもので、傾斜を変えたり、心拍数に対応して速度を調

節する機能を持ったものがあり、主に有酸素運動によるダイエットや生活習慣予防、健康の維持や増進を目的として開発されている。様々な施設に普及していることから、高齢者にとっても比較的なじみの深いトレーニング器具の一つであろう

\* 国士舘大学大学院スポーツ・システム研究科 (Graduate school of sport system, Kokushikan University)

\*\* 国士舘大学体育学部運動生理学教室 (Lab. of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education, Kokushikan University)

\*\*\* 国士舘大学工学部 (Lab. of Statistics Technology, Faculty of Engineering, Kokushikan University)

\*\*\*\* ミナト医科学株式会社 (MINATO medical department studies Co., Ltd.)

2), 7)。しかし、高齢者の歩行運動や歩行訓練を目的とした場合、一定速で長時間の運動は、身体的負担もさることながら、その目的となる歩行能力の向上に有効とは言い難い。そこで本研究者らは、高齢者の歩行能力やバランス能力向上のためのトレーニング器具として、ベルトの回転速度が不規則的に変化するトレッドミルの開発を行っている。これまで、30分間のトレッドミル歩行時の心拍数及び酸素消費量を測定し、平均心拍数は定速時より不規則的変速時が低い傾向を示すこと、歩行運動中の総酸素摂取量においては差が見られないことを報告した<sup>4)</sup>。また、心拍数の経時変化を観察すると、歩行開始時の心拍数に差は見られないが、時間経過とともに定速度時の心拍数は緩やかな上昇が観察できる一方、不規則的変速時ではその上昇は観察されなかった<sup>5)</sup>。変速歩行時のプロトコル設定は、不規則的な性質を持たせているため、歩行者は予測不可能な速度変化に対し歩速の調節を行わなければならない。定速歩行時と比較し歩速に対する調節は明らかに多く必要とされるが、心拍数や酸素消費量との関係からいえば必ずしも身体動揺は多くなるとは考えられない<sup>6)</sup>。したがって、本研究では、トレッドミル歩行による定速時と不規則的変速時の身体動揺の比較を行うことで、新型トレッドミルによる効果の新たな知見を得ることを目的とする。

## 研究方法

### 1. 被験者

被験者は成人男子 8 名を対象とした。被験者のプロフィールは表 1 に示した。

### 2. 測定条件と測定場所

測定は、温度、湿度を一定の水準で管理維持できる実験室内において、常設したトレッドミルを使用した。実験に際し、日常の運動習慣等の要因が関

与しないように被験者らの日程調整をおこない実験に参加させた。実験室内の温度は25℃、湿度は40%で設定し、午前10時から午後15時の日中に測定を行った。

### 3. 定速及び変速度の設定

速度の設定は、各被験者の最も歩きやすい速度を定速とし、変速は定速を基準として、3秒間隔の不規則の速度変化になるように設定した。定速と変速でのいずれも測定時間は20分とし、20分間の平均速度はどちらも同じ値である。

### 4. トレッドミル

トレッドミルはミナト医科学社製トレッドミル (AUTO RUNNER AR-100) を使い、外部出力の RS-232C ケーブルから速度制御を任意に変更可能なプログラムによって、被験者ごとの定速度及び変速度の設定を行った。

### 5. 身体動揺の測定

身体動揺の測定は、小型の 3 次元加速度計 Active-tracer AC300 (GMS社、東京) を使用した。この 3 次元加速度計は、圧電効果を利用した加速度センサー (ピエゾ発音体 7BB-20-6) が上下、左右、前後 3 方向に内蔵されており、運動によってその方向に生ずる応力を受け、素子が歪むことによって電圧が発生する機構になっている。分解能は 0.002G、測定範囲は 0-4.0G である。本実験に際し、Active-tracer AC300 はウエストの高さで腹部中央にベルトで固定した。重力加速

表 1 被験者のプロフィール

|       |       |      |    |                          |
|-------|-------|------|----|--------------------------|
| sub.a | 183.0 | 75.5 | 24 | 競技者としてトレーニングを行っている。      |
| sub.b | 169.0 | 64.5 | 31 | 週に1~2度の40分間のジョギングを行っている。 |
| sub.c | 170.0 | 87.7 | 28 | 特に何もしていない。               |
| sub.d | 168.5 | 60.0 | 24 | 競技者としてトレーニングを行っている。      |
| sub.e | 173.0 | 63.0 | 22 | 競技者としてトレーニングを行っている。      |
| sub.f | 167.0 | 60.0 | 23 | 週に3~4度のトレーニングを行っている。     |

度は (x、y、z方向およびその合成xyz) を0.05秒毎に測定し、1秒の平均値を本体に記憶するように設定し、歩行運動時の各加速度の平均値を各々Gx、Gy、Gz、G ( $= [Gx^2 + Gy^2 + Gz^2]^{1/2}$ ) とし、以降の検討に用いた。

6. 統計処理

結果は平均値と標準偏差で表示し、条件間の比較には対応のあるt検定を用い、条件間及び経過時間における比較にはANOVAとFisher's PLSD testを用いた。また、各測定項目間の相関関係はPearsonによる有意差検定を用いた。いずれの検定においても有意水準は5%未満とした。

結果

20分間の歩行における変速の前後方向成分加速度 ( $136.3 \pm 40.4$  Gm) は定速 ( $146.5 \pm 41.0$  Gm) に比べ有意に低い値を示した ( $P < 0.05$ )。また、変速歩行時において合成加速度と前後方向成分加速度とに有意な相関関係が認められた ( $r = 0.85$ ,  $P < 0.05$ ) (表4)。

時間ごとの比較を見てみると、合成加速度成分においては、いずれの時間ごとくも変速が定速より低値を示す傾向があるが (図2)、有意な差は認めら

れなかった (表5)。左右方向加速度においては、1-5分、5-10分で変速は定速より高値を示す傾向にあり、10-15分、15-20分では逆に、変速は定速より低値を示す傾向を示している (図3)。15-20分の変速においては定速に比べ有意に低い値を示した ( $P < 0.05$ ) (図5)。前後方向加速度においては、1-5分、5-10分で変速は定速より高値を示す傾向にあり、10-15分、15-20分では逆に変速は定速より

表2 各加速度成分の平均及び標準偏差

|       | 合成(Gxyz) |       | 左右方向(Gx) |       | 前後方向(Gy) |       | 上下方向(Gz) |       |
|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
|       | mG       |       | mG       |       | mG       |       | mG       |       |
|       | 定速       | 変速    | 定速       | 変速    | 定速       | 変速    | 定速       | 変速    |
| sub.a | 265.2    | 264.5 | 114.3    | 117.6 | 174.6    | 163.4 | 96.1     | 106.4 |
| sub.b | 231.4    | 228.1 | 102.3    | 102.6 | 165.2    | 152.3 | 86.6     | 131.3 |
| sub.c | 194.0    | 215.4 | 83.9     | 98.2  | 86.2     | 90.5  | 112.5    | 113.3 |
| sub.d | 257.6    | 196.0 | 117.8    | 94.2  | 103.0    | 82.4  | 108.3    | 103.1 |
| sub.e | 224.5    | 221.3 | 125.2    | 102.6 | 167.6    | 147.7 | 96.3     | 127.4 |
| sub.f | 275.5    | 291.0 | 111.2    | 98.6  | 182.5    | 181.4 | 124.6    | 118.1 |
| Mean  | 241.4    | 236.0 | 109.1    | 102.3 | 146.5    | 136.3 | 104.1    | 116.6 |
| ±S.D. | 30.4     | 35.0  | 14.5     | 8.1   | 41.0     | 40.4  | 13.7     | 11.2  |

表3 定速歩行時における各加速度成分感の相関関係

|          | 合成(Gxyz) | 左右方向(Gx) | 前後方向(Gy) | 上下方向(Gz) |
|----------|----------|----------|----------|----------|
| 合成(Gxyz) | 1.00     |          |          |          |
| 左右方向(Gx) | 0.60     | 1.00     |          |          |
| 前後方向(Gy) | 0.56     | 0.53     | 1.00     |          |
| 上下方向(Gz) | 0.23     | -0.18    | -0.24    | 1.00     |

Values are correlation coefficient

表4 変速歩行時における各加速度成分感の相関関係

|          | 合成(Gxyz) | 左右方向(Gx) | 前後方向(Gy) | 上下方向(Gz) |
|----------|----------|----------|----------|----------|
| 合成(Gxyz) | 1        |          |          |          |
| 左右方向(Gx) | 0.46     | 1.00     |          |          |
| 前後方向(Gy) | 0.85*    | 0.53     | 1.00     |          |
| 上下方向(Gz) | 0.06     | -0.06    | 0.45     | 1.00     |

Values are correlation coefficient

\*;P<0.05

表5 各加速度成分における経過時間ごとの比較

|          | mG | 1-5分         |              | 5-10分        |              | 10-15分       |              | 15-20分       |              |
|----------|----|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|          |    | 定速           | 変速           | 定速           | 変速           | 定速           | 変速           | 定速           | 変速           |
| 合成(Gxyz) |    | 242.0 ± 32.2 | 238.9 ± 36.5 | 241.7 ± 35.5 | 236.0 ± 32.9 | 238.7 ± 39.0 | 237.1 ± 29.6 | 239.2 ± 42.9 | 231.3 ± 26.6 |
|          |    |              | ns           |              | ns           |              | ns           |              | ns           |
| 左右方向(Gx) |    | 108.6 ± 15.8 | 111.2 ± 16.3 | 109.3 ± 17.7 | 111.7 ± 16.1 | 107.1 ± 19.8 | 101.4 ± 16.0 | 109.6 ± 22.2 | 99.6 ± 15.8  |
|          |    |              | ns           |              | ns           |              | ns           |              | *            |
| 前後方向(Gy) |    | 153.4 ± 38.7 | 155.7 ± 35.3 | 145.2 ± 41.8 | 148.7 ± 39.5 | 145.0 ± 41.3 | 126.5 ± 37.5 | 142.8 ± 44.6 | 122.9 ± 42.0 |
|          |    |              | ns           |              | ns           |              | *            |              | *            |
| 上下方向(Gz) |    | 110.6 ± 15.4 | 111.9 ± 16.2 | 109.3 ± 15.7 | 115.1 ± 17.4 | 106.4 ± 16.0 | 121.4 ± 17.0 | 104.8 ± 16.3 | 120.2 ± 18.2 |
|          |    |              | ns           |              | ns           |              | *            |              | *            |

Values are mean±S.D.

\*;P<0.05

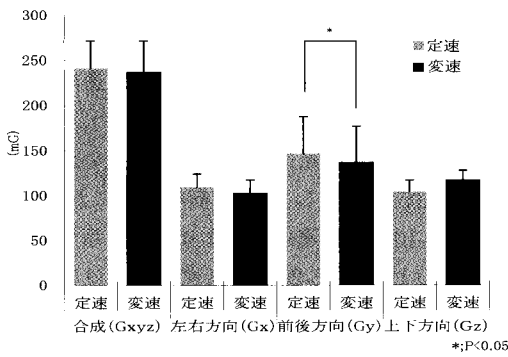


図1 定速と変速歩行時における各加速度成分の比較

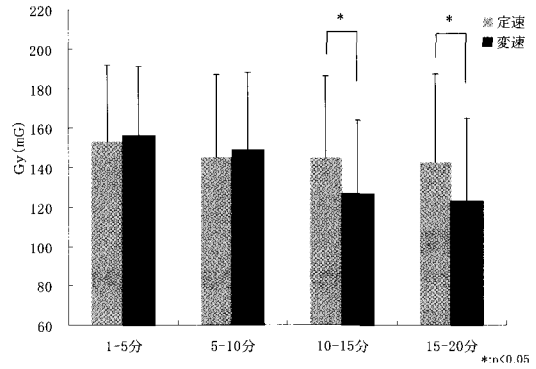


図4 前後方向 (Gy) 加速度における経過時間ごとの比較

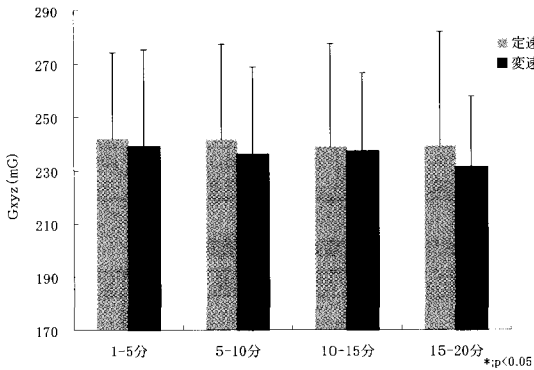


図2 合成加速度 (Gxyz) における経過時間ごとの比較

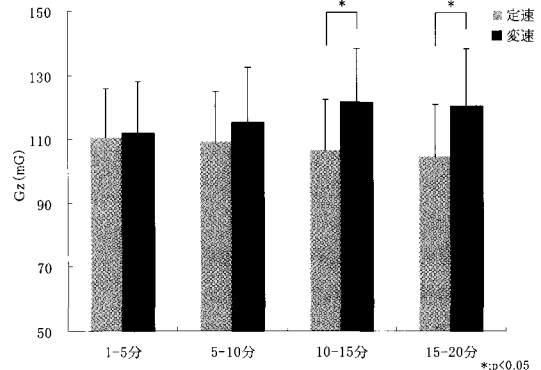


図5 上下方向 (Gz) 加速度における経過時間ごとの比較

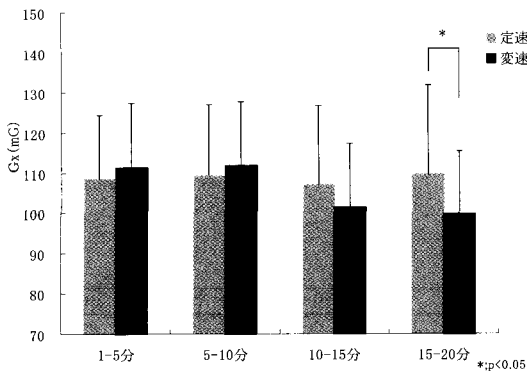


図3 左右方向 (Gx) 加速度における経過時間ごとの比較

は、いずれの時間も変速は定速より高い値を示す傾向にあり (図5)、10-15分、15-20分の変速は定速に比べいずれも有意に高い値を示した ( $P<0.05$ ) (図5)。

考 察

これまで、トレッドミルにおける変速歩行時の身体動揺の変化に着目した報告は見られないが、枝松ら<sup>1)</sup>は、トレッドミルでの自由歩行時において、歩き始めにおいては、歩調に近いリズムで頭部動揺周期に規則性が見られるが、時間経過とともに規則性が低くなることを報告している。この報告では、本研究と同様に加速度計を用いて評価を行っているが、左右方向の頭部動揺加速度の項

低値を示す傾向を示した (図4)。10-15分、15-20分の変速は定速に比べいずれも有意に低い値を示した ( $P<0.05$ ) (図5)。上下方向加速度において

目のみである。本実験結果における左右方向加速度においては、定速歩行時の身体動揺に経時的な変化は見いだすことはできないが、変速歩行時においては、歩行開始10-15分から、それ以前と比べ、トレッドミル速度変化に対する身体動揺の減少が見られる。この身体動揺の減少は、速度変化に対する直接的影響を受けやすい前後方向加速度においても同様であり、速度変化に対する姿勢調節の適応が見られたと考えることができる。姿勢調節の適応に関して、清田ら<sup>3)</sup>は若年者から高齢者までを4グループに分け、振動台に固定した床反力計上に閉眼で立位姿勢を保持させ、前後方向に振幅2.5cm・周波数0.5Hzで正弦波状に床を振動させて足圧中心動揺から姿勢制御能を評価し、全グループに経過時間や回数に伴う適応的な向上が認められたことを報告している。このことから、トレッドミル速度を規則的に変化させた場合はもちろんのこと、本実験のような速度を不規則的に変化させた場合においても姿勢制御の適応が見られると考えられる。また、清田らの実験の場合、調整は予測的姿勢制御能であると言えるが、本実験では予測不可能な状態での姿勢制御であるため、より複雑な調整力においても適応的な向上が見られたと考えることができる。本研究から、歩行時における姿勢制御能の向上に、不規則的変速

でのトレッドミル歩行は有効である可能性が示唆された。したがって、今後は高齢者を対象として、不規則的変速でのトレッドミル歩行のトレーニングにより、姿勢制御能向上が見られるかを明らかにしたい。

#### 引用・参考文献

- 1) 枝松千尋：歩調と頭部動揺周期の規則性の関係，第17回日本バイオメカニクス学会大会号，2002。
- 2) 木藤伸宏：高齢者の身体運動能力と転倒の関連性（測定・評価），理学療法学，27(2) 241-242，2000。
- 3) 清田岳臣：高齢者における床振動時の予測的姿勢調節適応能，金沢星陵大学人間科学研究所，35，14-26，2003。
- 4) 永吉英記、渡辺剛、清水敏寛、松岡正夫、山内忠行、若松宏行、木村真優子：1/fゆらぎ速度変化を可能とするトレッドミルの開発とその効果の検証（第1報）-歩行運動時の心拍数・酸素摂取量に着目して-，第59回日本体力医学会予稿集，355，2004。
- 5) 永吉英記、渡辺剛、清水敏寛、松岡正夫、山内忠行、若松宏行：高齢者の歩行能力向上を目的とした新型トレッドミルの開発に向けて，体育・スポーツ科学研究，4，69-73，2003。
- 6) 岡田誠：トレッドミル歩行分析-歩行速度の影響（呼吸・循環器系疾患）-，理学療法学，27(2)，64，2000。
- 7) 竹脇知実：高齢者の平衡機能-転倒事故との関連-，理学療法学，17(2)，369，1990。