

## 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

### Development towards a new kind of treadmill aimed at improving the walking ability of the elderly

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\*,

Hideki NAGAYOSHI\*, Tsuyoshi WATANABE\*\*, Toshihiro SHIMIZU\*\*\*,  
Yukio MATUOKA\*\*\*\*, Tadayuki YAMAUCHI\*\*\*\*,  
Hiroyuki WAKAMATSU\*, Mayuko KIMURA\*

#### はじめに

超高齢化社会を迎える我が国にとって、高齢者の健康管理の問題は避けて通ることの出来ない緊急の課題である。このような中、高齢者の健康を阻害する原因として、転倒があげられる<sup>5,8)</sup>。高齢者の転倒は在宅・入院に関わらず頻度が高いとされ、骨粗鬆症などで骨が脆弱化している高齢者が骨折などの損傷を受けると「寝たきり」の原因となることから重大視されている<sup>6)</sup>。高齢者における転倒の原因は、環境的な要因、バランス・歩行障害、筋力低下、視力障害、移動能力低下、認知障害、などが複合的に絡み合い、リスク数が増えるほど転倒の危険性が増大する<sup>1,6)</sup>。

著者らは、主に高齢者の歩行能力向上にこれまでより効果的な新型トレッドミルの開発に着手した。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・走行を目的で行う

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った。これまでのトレッドミルの多くは、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、その必要性に対応して開発されている<sup>3)</sup>。特に高齢者の利用状況では、歩行運動や歩行訓練を中心とした利用が多く、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知られているトレーニング器具の一つであろう。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技術の向上に直接に結びつかない。このような状況の中、すでに高齢者を対象としたトレッドミルの開発が、研究機関を中心に行われはじめている。高齢者を対象としたトレッドミル開発のこれまでの特徴として、①歩行運動及び訓練が主な目的として開発が進められている。②低速で安定した歩行運動や訓練が行

\* 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 Exercwase 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.)

えるように低速域のモーターの安定化を図っている。③歩行時の膝や足関節などへの負担を軽減するための工夫がなされている。④歩行器利用者や車いすからのアプローチなども考慮されている。以上のような4つの特徴がみられる<sup>2,4,7)</sup>。しかし、基本的なトレッドミルとしての機能的な変化は従来のものと変わらず、高齢者に使いやすいように整えたものにすぎない。

そこで著者らは、トレッドミルのベルトの回転速度を不規則に変化させること、また身体的負担を少なくする目的と、快適な歩行運動と継続性などの観点から、最近注目されている $1/f$ ゆらぎ速度変化を可能とするトレッドミルの開発を試みた。本研究では、新型トレッドミルの効果を検証する目的で、一定速度と $1/f$ ゆらぎ速度の2条件下での歩行運動中の心拍数、酸素摂取量等の比較調査を行った。この結果から興味ある一資料が得られたので報告する。

## 研究方法

### I. 被験者

被験者は成人男子3名を対象とした。被験者は、健康診断及び心電図による検査に異常がない者である。被験者の特徴を表1に示した。

表1 被験者の身体的特徴と活動状況

	身長(cm)	体重(kg)	年齢(歳)	身体活動状況
被験者1	183	75.5	24	競技者としてトレーニングを行っている。
被験者2	169	64.5	31	週に1～2度の40分間ジョギングを行っている。
被験者3	170	87.7	27	特に何もしていない。

### II. 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で行い、周期的コンディションの変化を考慮し、被験者の測定は、同じ時間帯で行

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時の日中に主な測定を行った。

#### 1) 歩行経済速度の算出

被験者ごとの歩行時の負荷量設定を歩行経済速度から算出するために、4回のテスト歩行をトレッドミル上で行った。4回のテスト歩行は、総歩行距離を1500mとし、3 km/h、4 km/h、5 km/h、6 km/hの4種類の一定速度で行い、それぞれの歩行時に費やされた酸素消費量から被験者ごとの歩行経済速度を2次回帰式から算出した。被験者ごとの歩行経済速度を表2に示す。

表2 被験者の歩行経済速度

	歩行経済速度(km/h)
被験者1	5.0
被験者2	3.6
被験者3	3.4

#### 2) $1/f$ ゆらぎ速度の設定

トレッドミル速度変化をあたえる出力制御に3秒間隔の変数で $1/f$ ゆらぎの性質を持った数列を記録させた。 $1/f$ ゆらぎは間欠性カオスとし、最大値と最小値は被験者ごと算出された歩行経済速度の20%の変位とした。歩行経済速度の20%の変位とした理由は、トレッドミルモーターの特徴と実際のトレッドミルベルト上の速度をハンドタコメータで計測し、歩行経済速度の20%の変位において誤差がなく、それ以上になると誤差が生じるためであった。

#### 3) 測定機材

##### ①トレッドミル

ミナト医科学社製トレッドミル (AUTO RUNNER AR-100) を用い、外部出力のRS-232C ケーブルからトレッドミルの速度制御を任意に高精度で変更可能なソフトをミナト医科学社が開発し、被験者ごとの一定速度及び $1/f$ ゆらぎ速度の設定を可能にした。

## ②呼気ガス及び心拍数の測定

呼気ガス分析はミナト医科学社製（AERO MONITOR AE-300S）によって、プレス・バイ・プレス法で分析した。心拍数は日本光電社製ハートレイトモニタOEC-6501を用い呼気ガス分析装置に出力させ、呼気ガスと同時に記録を行った。

## 4) プロトコル

座位安静状態で5分間行い、被験者ごとの歩行経済速度で5分間のウォーミングアップに続いてエクササイズを40分間行った。エクササイズの条件は歩行経済一定速度及び、歩行経済速度の20%変速域の1/f ゆらぎ速度とし、両者の歩行距離は同一である。

## 結果及び考察

一定速度及び1/f ゆらぎ速度歩行時のHR、 $V_{CO_2} \cdot VO_2 \cdot VCO_2/W \cdot VO_2/W \cdot R \cdot VE$ それぞれの平均値及び標準偏差を表3に示す。

歩行経済速度とは理論上もっともエネルギー効率がよく疲れにくい歩行速度である。したがって、この速度よりも速い場合や遅い場合でのどちらの歩行においても酸素摂取量、心拍数の数値は高くなるはずである。1/f ゆらぎの速度変化においても、経済速度に対して20%の速度変化をもたらしていることから、経済速度と比較して酸素摂取量、心拍数の数値は高くなると考えていた。しかし、本実験の結果においてみると、いずれの被験者の場合においても、酸素摂取量に大きな変化は見られず、心拍数に関しては逆に1/f ゆらぎの速度変化時に低い傾向が観察された。

被験者ごとに心拍数の変化をみても、一定速度での運動経過に伴う心拍数の上昇に比べ1/f ゆらぎの速度変化はより低い上昇が確認できる（図2）。

運動時の心拍数は自律神経の影響を強く受け、運動強度と直線的な関係にあることが知られてい

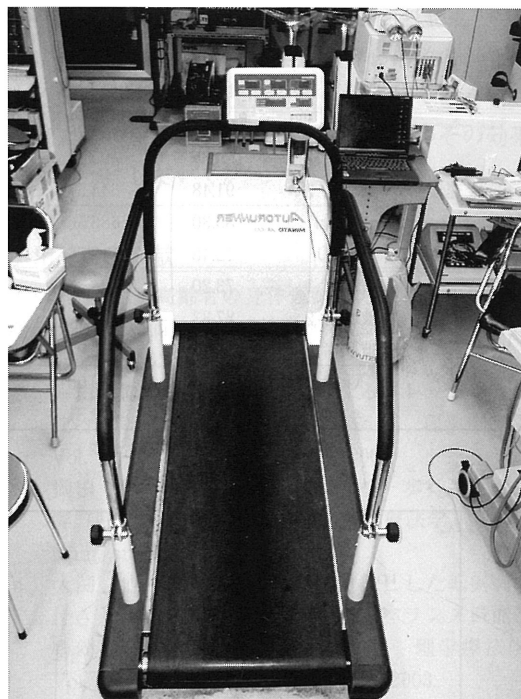


図1 開発中のトレッドミル

る。その運動負荷がAT以下の場合には主に迷走神経の抑制によって調節され、それ以上の運動負荷では反射性神経調節による交感神経緊張と運動筋の代謝性反射受容器を介する交感神経緊張の関与によって調節される。今回の歩行は一定速度と1/f ゆらぎの速度いずれにおいてもAT以下の運動負荷であり、心拍数調節には迷走神経の抑制が深く関与する。迷走神経抑制は脳幹より上位の高位中枢からの運動指令の一部が延髄の循環調節中枢によって行われているが、意識的な呼吸調節による迷走神経への関与も報告されていることから、本研究における心拍数低下の要因として、呼吸リズムを速度変化に対して意図的に最適な状態に変化させていたことが関与したとも考えられる。

一方、開発中のトレッドミルの特徴である速度に1/f ゆらぎの性質を持たせているが、1/f ゆらぎは既に様々な用途で利用され製品化もされている。例えば室内照明の照度を1/f ゆらぎにす

表3 一定速度と1/fゆらぎ速度運動時の心拍数及び呼気ガス分析

		HR (bpm)	VO <sub>2</sub> (ml/min)	VCO <sub>2</sub> (ml/min)	VO <sub>2</sub> /W (ml/min/kg)	VCO <sub>2</sub> /W (ml/min/kg)	R	VE (l/min)
一定速度	被験者 1	75.87	821.88	722.26	10.89	9.57	0.88	23.90
	被験者 2	100.55	599.24	505.59	9.29	7.84	0.84	19.11
	被験者 3	91.48	644.57	514.81	7.35	5.87	0.80	17.70
	Mean	89.30	688.56	580.89	9.18	7.76	0.84	20.24
	± S.D.	12.48	117.66	122.52	1.77	1.85	0.04	3.25
1 / f ゆらぎ 速度	被験者 1	73.20	824.53	646.00	10.92	8.56	0.78	21.66
	被験者 2	87.33	590.50	490.55	9.16	7.61	0.83	17.61
	被験者 3	86.91	652.07	531.83	7.33	6.06	0.82	17.81
	Mean	82.48	689.03	556.13	9.14	7.41	0.81	19.02
	± S.D.	8.04	121.31	80.52	1.80	1.26	0.02	2.28

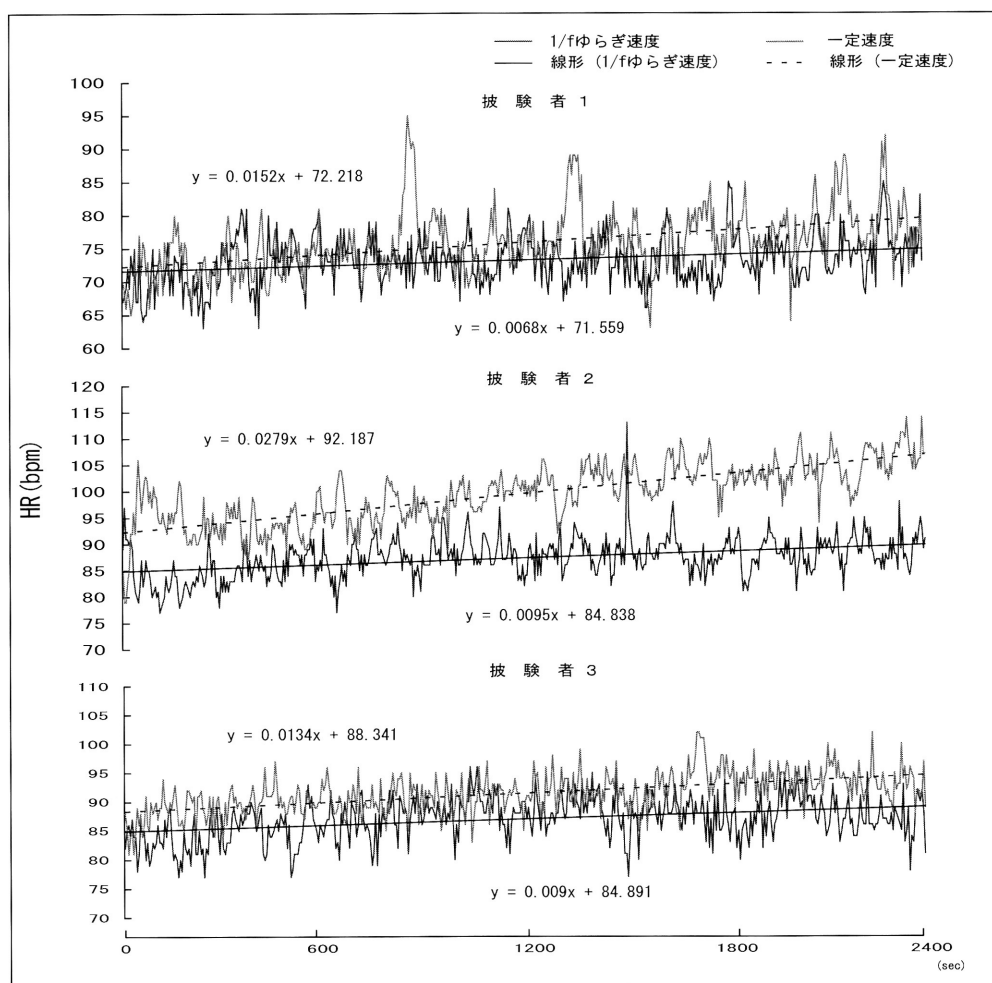


図2 各被験者の歩行運動中の心拍数変化

ることでその疲労度が軽減されたり、衣服や家具、都市計画などに利用され快適性や心地よさ与える情報となりえる可能性が考えられている。この利用の背景には、生体情報など、例えば心拍変動や、神経細胞のインパルス情報に  $1/f$  ゆらぎの性質が見出されたり、現象として  $1/f$  ゆらぎが取り扱われることにとどまらず、人工心臓の制御システム内に  $1/f$  ゆらぎの心拍出量調節などの医学的分野でその効果が検証しはじめられていることが影響している。また、近年の鶴見ら<sup>9)</sup>によれば、中高年者の歩行リズムや重心移動の軌跡に  $1/f$  ゆらぎの性質が少なく、また疾病などによってその性質はさらに少なくなることを報告している。このような  $1/f$  ゆらぎの特徴から考察すると、 $1/f$  ゆらぎ速度での歩行は一定速度に比べ、微妙な不規則的速度変化に対応して、様々な筋がバランスの維持に対して動員され、意識的、反射的に筋出力を調節していると考えられる。

## 今後の展開

今回の報告では、高齢者の歩行能力向上に効果的な新型トレッドミルの開発に基礎資料を得る目的で成人男性を対象に、一定速度と  $1/f$  ゆらぎ速度での歩行運動中の心拍数、酸素摂取量を測定した。この結果から  $1/f$  ゆらぎ速度での歩行運動が、経済速度よりも低い心拍数で継続できる可能性が示唆され、高齢者を対象とした新型トレッドミルの効果として期待できる。今後は高齢者を被験者とした本報告と同様の調査内容からそのデー

タ数を確保し統計的処理によって一定速度と  $1/f$  ゆらぎ速度による歩行運動中の心拍数の差を確かめたい。また、歩行能力向上に関与するバランス能力について、新型トレッドミルでのその効果を明らかにしていく。

## 引用・参考文献

- 1) 木藤 他：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，Vol. 27 Num. suppl2 pp.241,2000.
- 2) 幸田 他：左右スピードが異なるトレッドミルを使った転倒予防訓練（骨・関節疾患），理学療法学，Vol. 27 Num. suppl2 pp.121,2000.
- 3) 岡田 他：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，Vol. 27 Num. suppl2 pp.64,2000.
- 4) 大淵 他：地域在住高齢者を対象とした転倒刺激付きトレッドミルトレーニングのバランス機能改善効果－無作為化比較対照試験－，理学療法学，Vol. 30 Num. Supplement 2 pp.10,2003.
- 5) 望月 他：転倒の実態調査－障害者と健常高齢者を比較して－理学療法学，Vol. 21 Num. Supplement No.2 pp.466,1994.
- 6) 村田 他：高齢者の骨折と転倒について－環境的要因の調査報告書－，理学療法学，Vol. 23 Num. Supplement No.2 pp.405,1996.
- 7) 島田 他：施設利用高齢者に対する転倒刺激付きトレッドミル歩行練習の効果－Randomized Controlled Trialによる分析－，理学療法学，Vol. 30 Num. Supplement 2 pp.10,2003.
- 8) 竹脇 他：高齢者の平衡機能－転倒事故との関連－，理学療法学，Vol. 17 Num. Supplement pp.369,1990.
- 9) 鶴岡 他：中高年齢者の歩行におけるリズムとゆらぎ現象に関する研究，デサントスポーツ科学，Vol. 23, pp.209-210,2002.