

トレッドミルの不規則的変速に伴う歩行時の身体動揺と ピッチ及びストライドの関係 —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 and the pitch and stride 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 *

はじめに

本研究者は、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⁴⁾。また、不規則的変速歩行中の身体動揺に着目し、腰部に3次元加速度計を装着し、定速及び不規則的変速歩行時の身体動揺を加速度で比較したところ、不規則的変速歩行時の前後方向加速度は定速歩行時に比べ有意に低い値を示した。また、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分前から、それ以前と比べ、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身体動揺の減少が見られたことを報告した。これらの報告から、トレッドミルを不規則的に変速すること

は、必ずしも歩行経済効率を下げる結果にならないことがいえる。また、歩行中に変化する速度に対し適切な歩行速度を意識的に調節することで、その経済性を高めていると考えることができる。トレッドミル速度に対する歩速の調節は動作学的にはピッチとストライドによってすでに検討されている。見波ら³⁾によればトレッドミルの歩行の増速・減速における重心の移動速度をピッチとストライドの貢献度によって検討し、歩行速度の変化に対しピッチとストライドが共に貢献して調節を行うこと、またその定量的割合が個々で特異的な比率を示すことを報告している。このような歩行速度の変化に対するピッチとストライドの調節が身体動揺にどの程度影響を及ぼしているかはこれまで報告されていない。また、身体動揺やピッチとストライドによる速度調節の関係は、歩行能力やバランス能力には極めて関係が深いと考え、若年者や高齢者、運動歴等でどのように違いが見られるかを検討することは、歩行能力向上を目的としたトレッドミルの開発にとって重要な意味をもつと考えられる。したがって、本研究では不規

* 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.)

則的変速歩行時の速度調節について、身体動揺と歩速に対するピッチ及びストライドの貢献度について検討し、歩行能力やバランス能力との関係性を考察する一資料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6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設定を行った。

4. トレッドミル

トレッドミルはミナト医学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プロトコル設定を行った。

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

表1 被験者のプロフィール

	身長(cm)	体重(kg)	年齢(歳)	身体活動状況
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。

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

に設定し、歩行運動時の各加速度の平均値を各々 G_x 、 G_y 、 G_z 、 G ($= [G_x^2 + G_y^2 + G_z^2]^{1/2}$) とし、以降の検討に用いた。

6. ピッチ及びストライドの測定

ピッチ及びストライドは、歩行中の被験者らをトレッドミル側方から毎秒60コマで撮影し、得られた映像をPhysicalsoft社製 VMLabDigitProによって足先接地点をデジタル化し、トレッドミルに設けた1mごとのリファレンスポイントによって校正し、歩行前後方向の2次元実長換算することで、ストライド及びピッチのkinematics変量を算出した。

6. 分析項目

1) 身体動揺

身体動揺は合成加速度 (G_{xyz})、左右方向加速度 (G_x)、前後方向加速度 (G_y)、上下方向加速度 (G_z) の4項目について、それぞれ1秒平均で分析を行った。

2) ピッチとストライド

ピッチ及びストライドは、歩行開始5分後からの10分間について、一歩ごとのストライドとピッチを算出し分析を行った。また、歩速はピッチとストライドの積で規定され、歩速の増分 Δv はストライドとピッチの増分 ΔL 、 ΔF の2変量で決まるため、速度の増減100a%が、ストライド100b%とピッチ100c%の変化でなされたとすると、 $a=b+c+bc$ であるから、 $L=b/(b+c) \times 100$ 、 $F=c/(b+c) \times 100$ となり、 L と F によって歩速に対するピッチとストライドの貢献度を算出³⁾し分析を行った。

7. 統計処理

結果は平均値と標準偏差および最大値と最小値で示し、条件間の比較には対応のあるt検定を用いた。検定の有意水準は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 ± 40.4 Gm) は定速 (146.5 ± 41.0 Gm) に比べ有意に低い値を示した ($P < 0.05$) が、合成加速度、左右方向成分加速度、上下方向加速度に有意な差は認められなかった。

歩速に対するピッチとストライドの貢献度において、定速時では、6名中4名がストライドの貢献度が50%を越えて高く、2名はピッチの貢献度が高い値を示した。変速時では6名全員のストライドの貢献度が50%を越えた値を示した (表3)。一方、貢献度の最大値ではストライド及びピッチのいずれにおいても変速時が定速時より高い値を示し、最小値では変速時が定速時より低い値を示した (表4)。

各被験者ごとの一歩あたり、歩速に対するスト

表3 歩速に対するストライドとピッチの貢献度

	定速		変速	
	ストライド	ピッチ	ストライド	ピッチ
Sub.1	51.31 ± 4.48	48.69 ± 4.48	51.59 ± 6.84	48.41 ± 6.84
Sub.2	51.46 ± 5.74	48.54 ± 5.74	51.20 ± 6.27	48.80 ± 6.27
Sub.3	52.34 ± 4.26	47.66 ± 4.26	53.64 ± 6.42	46.36 ± 6.42
Sub.4	46.23 ± 3.96	53.77 ± 3.96	50.46 ± 7.63	49.54 ± 7.63
Sub.5	53.58 ± 5.47	46.42 ± 5.47	53.82 ± 7.14	46.18 ± 7.14
Sub.6	49.74 ± 6.02	50.26 ± 6.02	50.28 ± 6.57	49.72 ± 6.57

Mean ± SD(%)

表4 歩速に対するストライドとピッチの最大・最小貢献度

	定速				変速			
	ストライド		ピッチ		ストライド		ピッチ	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
Sub.1	66.24	43.14	56.86	33.76	76.77	2.15	97.85	23.23
Sub.2	67.27	37.41	62.59	32.73	70.86	0.81	99.19	29.14
Sub.3	68.48	45.26	54.74	31.52	75.68	4.77	95.23	24.32
Sub.4	61.24	41.66	58.34	38.76	74.38	1.99	98.01	25.62
Sub.5	67.26	47.32	52.68	32.74	71.54	3.25	96.75	28.46
Sub.6	62.82	40.08	59.92	37.18	75.16	2.18	97.82	24.84

Mean(%)

ライドとピッチの貢献度の標準偏差は変速で有意に高い値を示した(図2)。

考 察

枝松ら¹⁾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、時間経過と共に規則性が低くなることを報告している。この報告では歩調に対する頭部動揺の規則性に焦点を

当てているが、トレッドミルでの歩行中の身体各部の動揺が時間経過と共に変化しているということがこの報告から理解できる。姿勢調節の適応に関して見れば、清田ら²⁾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。枝松らや清田らの報告

から、トレッドミル歩行といった特殊な運動に対し、技術的適応や歩行中の身体動揺に対する姿勢調節などが時間経過と共に向上していくといったことが考える。本研究の結果において、20分間の歩行における変速の前後方向成分加速度が定速に比べ有意に低い値を示していることは、不規則的な速度変化に対し、定速より速度調節や姿勢調節を意識的に向上させ適応を行っていると考えられる。速度調節や姿勢調節についてピッチとストライドの結果から考察すると、歩速の変化に対するピッチとストライドの貢献度は被験者によって特異的な比率を表すことはすでに見波ら³⁾が報告している。本研究結果では定速歩行時において、4名はストライド、2名はピッチによる貢献度が高く、また、被験者ごとのストライド及びピッチの貢献度の標準偏差では4~5%の値を示していることなどから、ピッチとストライドによって、速度に対する調節を顕著に行っていると考えることができる。一

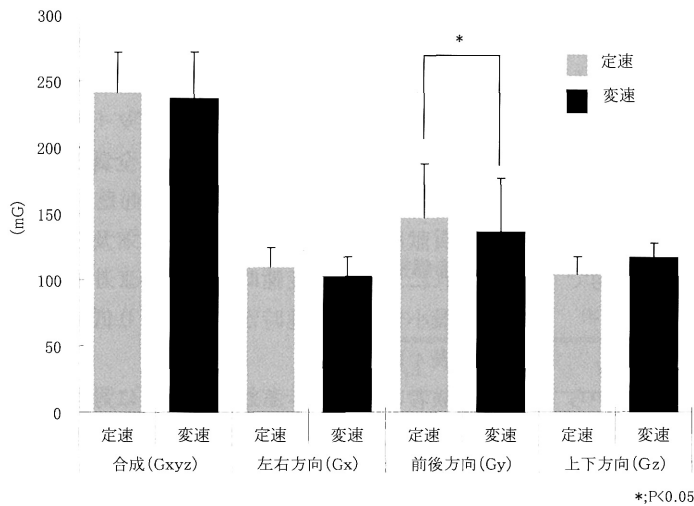


図1 定速と変速歩行時における各加速度成分の比較

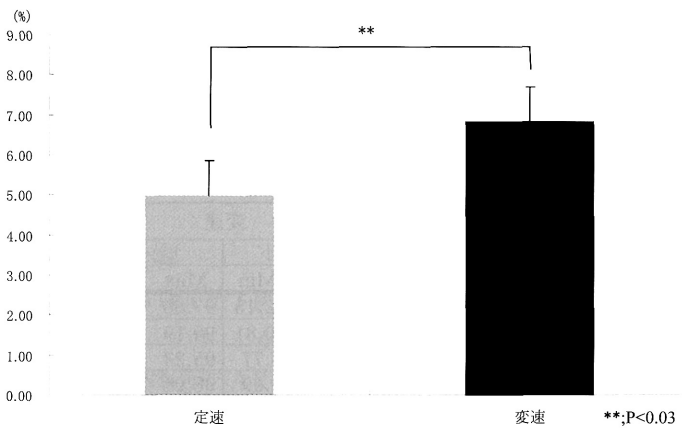


図2 定速に対するピッチとストライドの貢献度の標準偏差比較(1歩あたり)

方、変速歩行時では6名全員ストライドの貢献度が高いが、貢献度の最大値、最小値はストライドとピッチ共に高い値を示していることや、被験者ごとのストライド及びピッチの貢献度の標準偏差では、定速時より有意に高い値を示していることから、速度変化に対する顕著な調整を行っていると考えられる。以上のことから、トレッドミルの不規則的変速歩行を行うことによって、ピッチとストライドの調節を向上させ、速度への適応や身体動揺を減少させたと考えられる。この結果から、高齢者の歩行能力やバランス能力向上のためにはトレッドミルでの不規則的変速歩行は有効となることが考えられ、今後の研究として高齢者を対象としたトレーニングの効果を検討したい。

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) 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，第35号，14-26，2003.
- 3) 見波静、大道等：歩速の増減過渡期における床反力応答特性，体力科学，51(6)，pp798，2002.
- 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，pp355，2004.
- 5) 永吉英記、渡辺 剛、清水 敏寛、松岡 正夫、山内 忠行、若松 宏行、木村真優子：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、才藤栄一、櫻井宏明、鈴木由佳理、寺西利生、金田嘉清：トレッドミル歩行分析—歩行速度の影響—，理学療法学，27，pp64，2000.