

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：23302

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K06872

研究課題名(和文) 歩行対称性指標の妥当性およびその正常標準値の検討

研究課題名(英文) Validation of gait symmetry and regularity measurement.

研究代表者

小林 宏光 (Kobayashi, Hiromitsu)

石川県立看護大学・看護学部・教授

研究者番号：20225535

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、トレッドミル上での歩行における体幹加速度測定を行った。82名の健康な男性(23-64歳)が研究に参加した。体幹加速度の自己相関関数から歩行の対称性、定常性指標を得た。腰背部、胸背部の前後(AP)および垂直(VT)方向に関してこれらの歩行指標の健康男性集団における標準値を得ることができた。歩行速度に関して2Km/h～6Km/hでは速度が速いほど歩行対称性、歩行定常性が向上した。トレッドミル傾斜角度の影響および連続歩行中の疲労の歩行対称性、歩行定常性に対する影響はは全くみられなかった。本研究の被験者内では年齢と歩行指標の間の相関は見られなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

加速度測定はヒトの歩行の解析方法の一つであるが、近年、体幹の加速度波形の自己相関関数による歩行の定常性・左右対称性評価が注目されている。この手法はスマートフォンやウェアラブルセンサを用いた測定が可能であることから、従来の歩行動作研究の枠にとどまらず、健康作りのためのヘルスセンシング技術の1つとして広く関心を集めている。本研究は脳卒中患者、変形性関節症などの有病者を扱うのではなく、健康な男性集団を対象とし、歩行速度や傾斜角度の影響など基本的な要因との関係を検討した。本研究の結果はこの技術を広く活用していく際の基本的知見になると思われる。

研究成果の概要(英文)：In this study, trunk acceleration during gait on a treadmill was measured in 82 healthy male (aged 23-64) participants. Symmetry and regularity indices of gait were obtained from the autocorrelation function of trunk acceleration. The standard values of these gait indices were presented for the anterior-posterior and vertical directions of the waist back and chest back accelerations. The effect of gait speed was investigated from 2 km/h to 6 km/h. The results indicated that improved symmetry and regularity were observed in higher speed. There was no effect of treadmill incline angle or fatigue during continuous walking on the gait indices. There was no correlation between age and the gait indices within the participants.

研究分野：生理人類学

キーワード：歩行 加速度 対称性

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

ヒトの歩行の解析にはさまざまな方法が用いられている。代表的な方法として、筋電図学的方法、画像解析、力学的的方法があり、それぞれに特徴がある。加速度測定は力学的的方法の一つであるが、1990年代末に Moe-Nilssen (1998) によって提案された体幹部加速度の自己相関関数による歩行対称性推定法は、測定解析の簡便さ、同一のプロセスで対称性と定常性の2つの指標が得られること、歩行動作に関して時間・空間的視点と力学的視点の両方を統合した指標が得られることなど多くの利点がある。申請者らのこれまでの研究で、この指標において性差および年齢差が見られることが明らかになった (Kobayashi et al., 2014)。他にも国内外でいくつかの研究が報告されており、パーキンソン病や変形股関節症など病的状態でのデータは蓄積されつつあるが、健常者における歩行速度や疲労の影響など基本的な点で不明な点が多い。本課題ではこの手法に関して基礎的な点から検討し、歩行機能の簡便かつ総合的な評価指標としての確立を目指す。

近年この指標を用いた研究報告は大幅に増加し、2020年以降だけでも100報以上の論文が公表されている。研究対象としては、義足装着者、脳卒中患者、変形性関節症などの有病者を扱った研究が多いが、近年の傾向として、スマートフォンやウェアラブルセンサを用いた歩行解析方法としてこの手法が用いられている例が見られる (例えば Zhong & Gao, 2022, Hagoort, et al., 2022)。このことから、この分野に関する近年の研究は従来の歩行動作研究の枠にとどまらず、健康作りのためのヘルスセンシング技術の1つとして注目されているといえる。

### 2. 研究の目的

本研究の具体的目的は、歩行速度と傾斜角度が体幹動揺特性および歩行対称性に与える影響を明らかにすることである。実際の路面上での歩行実験では歩行距離が制限され、また歩行速度のコントロールが難しいが、トレッドミル上の歩行であれば、これらの制限がなく厳密に条件をコントロールできる。本研究では、トレッドミルの特性を生かし、歩行速度と傾斜角度および連続歩行による運動負荷が歩行動作に与える影響を調査した。

### 3. 研究の方法

被験者は23歳から68歳までの健康な男性82名であった。被験者の概要を表1に示す。

表1 対象者の概要 n=82

	平均	SD	最大	最小
年齢(年)	43.4	10.4	68	23
身長(cm)	170.8	6.3	184.0	152.5
体重(kg)	71.4	12.9	119.0	49.1

本研究では以下の3つの検討を行った。測定条件間では1分以上の休憩をはさんだ。

#### 歩行速度の影響

歩行速度を1km/h、2km/h、3km/h、4km/h、5km/h、6km/hの6条件(傾斜角度は0%)で1分間の歩行を行った。1km/hと2km/hの2条件については46名分、3~6km/hについては82名分のデータが得られた。

#### トレッドミルの傾斜角度の影響

トレッドミルの傾斜角度を0%、5%、10%、15%の4段階設定し、各条件で1分間の歩行を行った。

歩行速度は 4km/h であった。すべての角度条件で 82 名分のデータが得られた。

#### 歩行中の疲労の影響

トレッドミルの速度を 4km/h、傾斜角度を 15%とし、8 分間連続して歩行を行った。スタートから 2 分ごとに 1 分間の記録を行った。この条件では体幹加速度に加えて心拍数の記録も行った。この実験の被験者数は 35 名であった。

被験者は実験に関する説明を受けた後、胸背部及び腰背部(仙骨部)に専用のエラストックベルトで無線モーションセンサを装着した。それぞれのセンサは 3 軸加速度および 3 軸角速度を記録し、これらの信号から歩行中の左右対称性および体幹傾斜角度、体幹動揺のリサージュ図形が得られた。これらの解析のためのソフトウェアは以前の研究<sup>1)</sup>で開発したものである。8 分間の連続歩行条件の際には、これらに加えて心拍センサ(POLAR H10)を装着した。

1 分間のデータの中心部分 20 秒間のデータから自己相関関数を算出し、これから歩行の対称性、定常性指標を得た。実験の連続歩行の際には 2 分ごとに 1 分間の加速度を記録した。

#### 4. 研究成果

本研究では、胸背部及び腰背部の 2 か所の測定を行っており、3 軸加速度に加えジャイロセンサによる角速度データも得られている。図 1 に 2km/h および 5km/h 歩行中の腰背部加速度の自己相関関数およびリサージュ波形の例を示す。2km/h の例では自己相関関数の 1 つめのピーク(対称性指標)は 0.85、2 つめのピーク(定常性指標)は 0.87 となっている。同様に 5km/h では対称性、定常性指標は 0.93 と 0.90 である。

表 2 に 4km/h(傾斜なし)歩行時の胸背部及び腰背部の前後(AP)と上下(VT)方向加速度から得られた歩調及び対称性、定常性指標の集計値を示す。原理的には横方向(ML)加速度からも対称性、定常性指標は求められるが、結果が非常に不安定になることからこの研究では ML の結果は扱わない。歩調はほぼ正規分布的であるが、対称性、定常性指標はかなり正規分布から外れる。この場合 Fisher の z 変換を適用することが望ましい。z 変換は以下の式で定義される。

$$z = \frac{1}{2} \log \left( \frac{1+r}{1-r} \right)$$

表 3 に表 2 と同じデータの z 変換後の結果を示す。歪度(Skewness)と尖度(Kurtosis)はかなり小さくなり分布特性が大幅に改善していることがわかる。この結果から対称性・定常性指標を評価するには z 変換を用いることが望ましいといえる。これ以降、歩行対称性、定常性指標はこの z 変換した値を用いる。

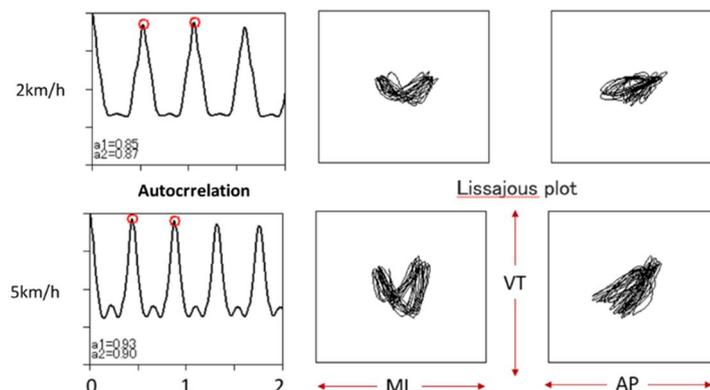


図 1 腰背部加速度の自己相関関数とリサージュ曲線の例

表 2 結果の概要 (4km/h 歩行時)

	Waist back					Chest back			
	AP			VT		AP		VT	
	Cad	Sym	Reg	Sym	Reg	Sym	Reg	Sym	Reg
Mean	0.533	0.882	0.893	0.842	0.867	0.805	0.858	0.866	0.887
SD	0.054	0.055	0.059	0.082	0.062	0.122	0.082	0.062	0.053
Median	0.540	0.896	0.909	0.868	0.874	0.848	0.880	0.880	0.899
Q1	0.494	0.857	0.865	0.816	0.837	0.735	0.813	0.844	0.853
Q3	0.570	0.918	0.937	0.892	0.918	0.900	0.918	0.907	0.927
Skewness	-0.168	-1.519	-1.960	-2.174	-1.099	-1.297	-1.471	-1.601	-1.085
Kurtosis	-0.482	3.245	6.507	7.575	1.844	1.189	3.024	4.497	1.602

Cad: Cadence(s), Sym: Symmetry index, Reg: Regularity Index  
 AP: anteroposterior, VT: vertical,

表 3 z変換した結果の概要 (4km/h 歩行時)

	Waist back				Chest back			
	AP		VT		AP		VT	
	Sym	Reg	Sym	Reg	Sym	Reg	Sym	Reg
Mean	0.623	0.651	0.521	0.591	0.557	0.597	0.593	0.636
SD	0.101	0.114	0.141	0.128	0.108	0.110	0.103	0.110
Median	0.630	0.661	0.542	0.597	0.575	0.586	0.597	0.637
Q1	0.557	0.569	0.408	0.493	0.497	0.526	0.536	0.549
Q3	0.685	0.744	0.640	0.685	0.622	0.683	0.656	0.709
Skewness	-0.219	-0.292	-0.382	-0.186	-0.458	0.168	-0.061	0.225
Kurtosis	0.085	0.080	-0.596	-0.347	0.833	-0.071	0.442	0.186

Cad: Cadence(s), Sym: Symmetry index, Reg: Regularity Index  
 AP: anteroposterior, VT: vertical,

図 2 に腰背部加速度 (AP) から得られた歩行指標に対する速度の影響を示す。歩行速度に関して 1Km/h ~ 6Km/h の 6 条件を検討したが、1km/h では遅すぎて安定した歩行を行うことが困難であったため 2km/h 以上の結果を分析した。2Km/h ~ 5Km/h では速度が速いほど歩調は低下し、歩行対称性、歩行定常性が向上した。5km/h で対称性、定常性は上限に達し、5km/h と 6km/h はほぼ変化がなく対称性指標は 6km/h でわずかながら低下を示した。歩調 (cadence) は 2Km/h ~ 6Km/h の間で一貫して短縮しており、5km/h と 6km/h の間にもはっきり低下がみられることから、この速度による歩行対称性、定常性の変化は単に歩調の変化によるものではないことがわかる。ここでは腰背部加速度の結果を示したが、胸背部の結果も同様の傾向であった。

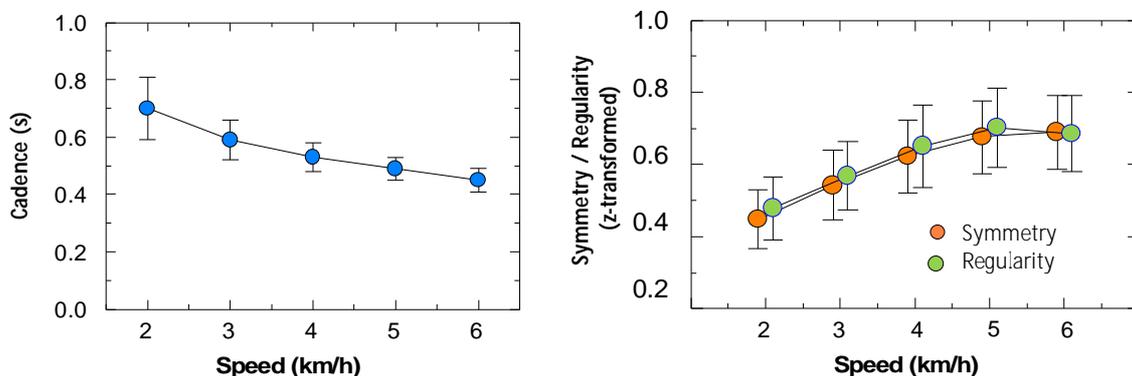


図 2 歩調および腰背部加速度の対称性・定常性に対する速度の影響

図3にトレッドミルの傾斜角度の影響を示す。歩行速度は4km/hに固定し傾斜0% (平面), 5% (2.9度) 10% (5.7度), 15% (8.5度)の4条件を検討した。歩調は傾斜条件の影響を全く受けなかった。これは歩行速度が一定であるのである程度予想できる結果であるが、一方で歩行の対称性、定常性指標ともに傾斜が増すとともにわずかに対称性・定常性が低下する傾向がみられたが、統計的有意差にはならなかった。

図4に8分間歩行中の対称性・定常性の変化を示す。腰背部AP加速度から得られた結果である。歩行中に心拍数は100から138bpm程度まで増加したが、一方で対称性・定常性は歩行中にほとんど変化を示さなかった。

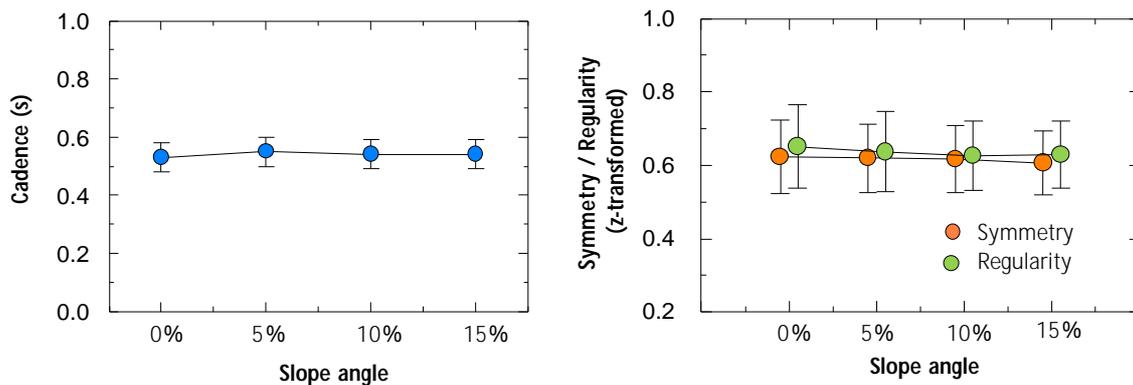


図3 歩調および胸背部加速度対称性・定常性に対する傾斜角度の影響

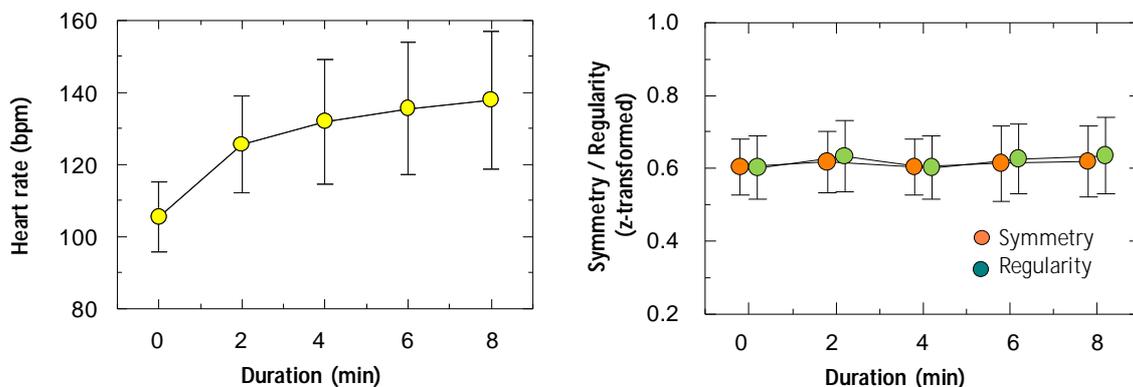


図4 歩調および対称性・定常性に対する8分間歩行の影響

本研究の結果から、歩行の対称性、定常性指標には歩行速度の影響が大きいことが示された。2-6km/hの範囲であるが歩行速度が速いほど対称性、定常性は向上した。年齢間の差に限らず、速度が一定でない条件間で歩行指標の値を比較する場合はあり得ることから、この速度と歩行指標の関連を把握することは重要であると思われる。

また当初の予想では路面の傾斜や身体負荷の大きな歩行においては歩行指標の低下があることを予想していたが、どちらの条件においても対称性、定常性に対する影響はほとんど見られなかった。本研究のサンプル数と検出力は十分であるので、これらの条件に関しては歩行速度と比較して歩行対称性、定常性に対する影響力は弱いことが示された。

以上のように、本研究の実施により、体幹加速度の自己相関関数による歩行の対称性、定常性指標に関し、健康な男性集団における標準値および関連要因に関する基礎的知見が得られたといえる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------