

コンテスト出場女性における ハイヒールとスニーカーの歩行状態の比較 Comparison of Gait Condition between High Heels and Sneakers in Female Contestants

株式会社早稲田エルダリーヘルス事業団
Waseda Elderly Health Association Co., Ltd.

伊藤 太祐
Taisuke Ito

Key words : コンテスト出場女性 (Female Contestants), ハイヒール (High Heels), スニーカー (Sneakers), 歩行 (Gait), 歩行解析デバイス AYUMI EYE (Gait Analysis Device AYUMI EYE)

要 旨

3軸加速度センサを用いて、スニーカーおよびハイヒールの2条件において歩行機能(歩行速度, 歩幅, RMS (Root Mean Square), 歩行周期ばらつき, 接地時間の左右差)を測定および比較した。ハイヒールに対する得手不得手が交絡要因として研究結果に影響を与えないように、ハイヒール着用慣れたコンテスト出場女性42名を対象とした。歩行速度, 歩幅およびRMSにおいて、条件間で有意差が認められた。スニーカーとハイヒールの間には、靴としての機能的特性差があり、いかにハイヒールを履きこなしても、ハイヒール着用下においてはスニーカーと同様の歩容は再現されないと考えられた。

緒 言

ハイヒールは主に女性の履物の一つとして文化的に浸透しており¹⁾²⁾、ハイヒールと女性のセクシャリティの間には強い関連性があるとの指摘もある²⁾。その特徴的な形状が故に、スニーカー等と比較すると、一般的には歩きにくい靴であると認知されており、ハイヒールを着用して効率的に歩くための知見として、着用下の歩容についてバイオメカニクス等多数の報告がある^{2)~4)}。しかし先行研究の多くは、ハイヒールを上手く履きこなせないことも多いとされる一般女性³⁾を被験者に採用しているため、ハイヒール歩行の理想的な歩容が観察されていないと考えられる。これは、研究結果にハイヒールに対する得手不得手が交絡要因として影響を与えている可能性を示唆しており、このことは先行研究においても限界の一つとして挙げられることもある³⁾。すなわち、ハイヒールの靴としての機能的特性と、履きこなすための特徴を抽出するためには、ハイヒールをうまく履きこなしている上級者を被験者として、ハイヒールと

(2021/12/20 受付)

連絡先 : 伊藤 太祐 〒108-0074 東京都港区高輪 4-24-58 株式会社早稲田エルダリーヘルス事業団
TEL : 03-5447-5470 FAX : 03-5447-5480
E-mail address : t_ito@waseda-e-life.co.jp

それ以外の条件での歩行との比較を行うべきであると考えられる。

今回、コンテスト出場女性において、スニーカーからハイヒールに履き替えた際の歩行を計測する機会を得た。コンテスト出場においては、規定のハイヒールを美しく履きこなすことが求められ、日常的なハイヒールの着用や練習が実施されていることから、出場女性は一般女性と比較して、ハイヒールに慣れた上級者であると仮定できる。したがって、本研究の目的は、コンテスト出場女性においてハイヒールおよびスニーカー着用時の歩行状態を比較することとした。

対象と方法

被験者はコンテスト出場女性（42名、平均年齢 23.4 ± 2.4 歳、平均身長 167.1 ± 6.4 cm、平均体重 53.5 ± 6.1 kg）を対象とし、歩行機能を測定した。なお実験実施に際しては、被験者に口頭ならびに書面にて説明を実施し承認を得た。

歩行機能は3軸加速度センサ（歩行解析デバイス AYUMI EYE[®]：株式会社早稲田 EHA 製；図1）を用いた。加速度センサのモジュール重量は18.5g（電池含む）、大きさ $62.4 \times 30.9 \times 11.8$ mm、サンプリング周波数31.25Hz、検出範囲 $\pm 4G$ 、感度8mG/digitであった。モジュールにより計測された加速度信号はデジタル化され、タブレット（iPad；APPLE社製）にBluetooth通信を用いて転送された。加速度センサはX軸、Y軸、Z軸を有し、それぞれが上下（垂直）成分、左右（側方）成分、前後成分の加速度を捉えた。第3腰椎棘突



図1. 歩行解析デバイス AYUMI EYE

起付近に接するよう装着し、（図2）スニーカー条件（各自私物着用）とハイヒール条件（サイズを合わせたコンテスト規定のハイヒール着用）の順に、各条件1本計2本、10m快適歩行にて計測した。（図3）10m歩行は、多数の先行研究にて確立された計測方法であり⁷⁾、加速度センサを用いた場合の妥当性も示されている⁶⁾。なお本コンテストにおいては、プラットフォーム高7.5cm、ピンヒール高16.0cmのハイヒール（図4）が採用されており、実験試技については十分な予備練習を実施した。分析項目（図5、6）として、歩行速度、歩幅、身体動揺の程度の指標としてRMS（Root Mean Square：3軸加速度の二乗平均平方根を歩行速度の2乗で正規化）、時間的な安定性の指標として歩行周期ばらつき、左右のInitial contact（IC）間の時間差（接地時間の左右差）、水平面における左右・前後加速度データの特徴を算出した。なお歩行周期については、解析区間の始まりと終わりを除き完成された歩行周期時間を切り出し、平均および標準偏差を求めた。またプロットデータ数は全解析区間における水平面にプロットされたデータの数を示しており、各象限が有する割合を評価することで、水平面における動揺の特徴を数値化した。Y、Z軸値はそれぞれ側方および前後成分の加速度の二乗平方根を示し、合計および平均値を用いて各成分の加速度波形の大きさを数値



図2. AYUMI EYEの装着

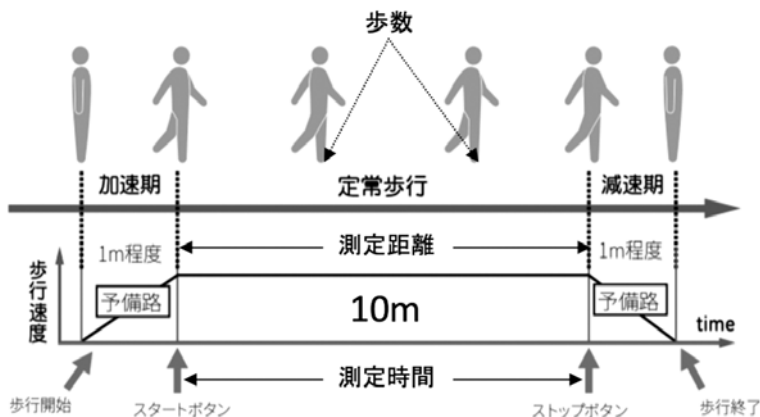


図3. 歩行計測の実施概要

化した。

条件間の比較には Wilcoxon 符号付順位和検定を用いた。有意水準は 5%未満とした。

結 果

スニーカー条件とハイヒール条件の比較について、結果を表1に示す。スニーカー条件に比してハイヒール条件において、歩行速度・歩幅が減少し、3軸におけるRMSが増大した。歩行周期ばらつきおよび接地時間左右差に関しては、有意差を認めなかった。

水平面における左右・前後加速度データについて、スニーカーおよびハイヒールにおけるプロット図の典型例を図7に示す。プロットデータに関しては、スニーカー条件に比してハイヒール条件において、全データ総数が多く、各象限が有する割合としては、第1・2象限が小さく、第3・4象限が大きかった。すなわち、ハイヒール条件において、歩行時間が長く、かつ後方への加速度が生じる時間が長いことが明らかとなった。Y軸値に関しては、スニーカー条件に比してハイヒール条件において、合計値および平均値が大きく、各象限が有する割合としては、第2象限が小さく、第3・4象限が大きかった。すなわち、ハイヒール条件において、側方への大きな加速度が生じ、特に後方側方において著明であった。Z軸値に関して



図4. コンテスト規定のハイヒール

は、スニーカー条件に比してハイヒール条件において、合計値および平均値は有意差がなく、各象限が有する割合としては、第1・2象限が小さく、第3・4象限が大きかった。すなわち、ハイヒール条件において、前方へ生じる加速度が小さく、後方へ生じる加速度が大きいたことが明らかとなった。

考 察

ハイヒールは、その特殊な構造上、足および足関節の自然な位置関係を変化させ、下肢あるいは脊柱にまで連鎖的な悪影響を及ぼすとされている⁴⁾⁸⁾。ハイヒールの着用により足関節の底屈が強

- 歩行速度 (m/s)
[測定距離] ÷ [測定時間]
- 歩幅 (cm)
[測定距離] ÷ [歩数]
- RMS (1/m)
Root Mean Square : 加速度二乗平均平方根を歩行速度の2乗で正規化

$$RMS\{a_{x-z}(t)\} = \left(\frac{1}{T} \int_t^{t+T} a_{x-z}^2(t) dt \right)^{\frac{1}{2}} \div v^2 \quad [1/m]$$

3軸それぞれのRMS 3軸それぞれの加速度 歩行速度

(3軸[X(上下)・Y(左右)・Z(前後)]それぞれのRMS およびそれらの平均値を求めた)
- 歩行周期ばらつき (s)
1歩行周期にかかる時間の標準偏差 : 歩行の規則性

$$S_s = \left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^T (s_i - \bar{s})^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad [s]$$

歩行全データにおける1歩行周期時間の平均値
歩行全データにおける1歩行周期時間の各値
- 接地時間左右差 (s)
左右のIC間の時間差
- 水平面における左右・前後加速度データ
 - 1) 全データに対する各象限が有する割合を算出
 - ・ プロットデータ数
 - ・ Y軸値・Z軸値 : 合計値 (右式)
$$Y = \left(\int_t^{t+T} (a_y^2)^{\frac{1}{2}}(t) dt \right) \quad [g]$$

$$Z = \left(\int_t^{t+T} (a_z^2)^{\frac{1}{2}}(t) dt \right) \quad [g]$$
 - 2) Y軸値・Z軸値 : 平均値

図5. 解析項目

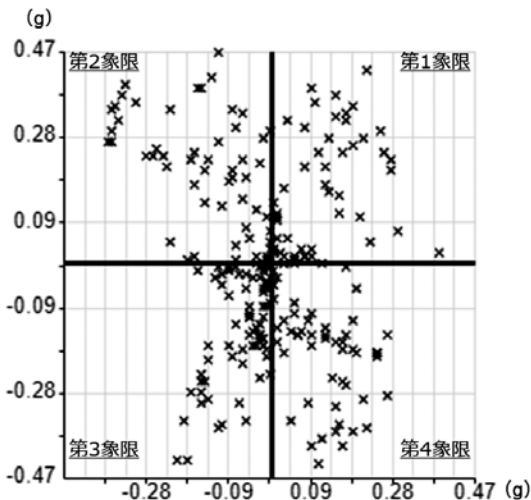


図6. 水平面における左右・前後加速度データのプロット図

制されてヒールロッカーが短縮し³⁾, 歩幅が小さくなり²⁾⁵⁾⁸⁾, 歩行時のバランスが損なわれる⁸⁾との報

告もある。また、ピンヒールの着地が不安定で、踵から着地し、足の外側から内側に接地点を移動し、第1指の付け根から蹴りだすような、いわゆるあおり歩行が行いにくい⁶⁾ため、体のひねりが左右の揺れとなること⁵⁾, 腰の回転や傾きが大きくなること²⁾が指摘されている。さらには、これらの特徴が歩行の女性らしさを増加させると表現する報告²⁾もある。

本研究の結果においても、スニーカー条件に比してハイヒール条件において、歩行速度が遅く、歩幅が小さく、上下左右前後のRMSが大きかった。RMSは、値が大きいかほど動揺性が高い歩行であることを示すことから⁹⁾, ヒールの接地から前方への重心移動において、3次元的な揺れが大きく、ロッカーファンクション機能が働きにくい⁶⁾ため、前方への推進力産出を腰部の伸展で代償していたと推察された。あるいは、不整地歩行での

表 1. 結果

	スニーカー	ハイヒール	p 値
歩行速度 (m/s)	1.44±0.13	1.33±0.12	0.00
歩幅 (cm)	81.0±7.1	74.7±6.6	0.00
RMS			
3 軸平均 (1/m)	1.45±0.22	1.78±0.27	0.00
X 軸 (1/m)	1.64±0.67	1.83±0.33	0.00
Y 軸 (1/m)	1.59±0.23	2.03±0.37	0.00
Z 軸 (1/m)	1.11±0.22	1.46±0.31	0.00
歩行周期ばらつき (s)	0.02±0.01	0.03±0.01	0.14
接地時間左右差 (s)	0.03±0.03	0.02±0.02	0.68
水平面における左右・前後加速度データ			
プロットデータ			
全データ総数	207.6±19.7	224.3±19.8	0.00
各象限が有する割合			
第 1 象限	0.39±0.10	0.35±0.10	0.01
第 2 象限	0.38±0.10	0.32±0.10	0.00
第 3 象限	0.14±0.10	0.19±0.09	0.00
第 4 象限	0.09±0.07	0.14±0.09	0.00
Y 軸値			
合計値 (g)	34.15±6.45	42.89±9.48	0.00
各象限が有する割合			
第 1 象限	0.38±0.09	0.36±0.10	0.20
第 2 象限	0.42±0.11	0.33±0.11	0.00
第 3 象限	0.13±0.08	0.18±0.08	0.00
第 4 象限	0.08±0.07	0.13±0.09	0.00
平均値 (g)	0.17±0.04	0.19±0.05	0.00
Z 軸値			
合計値 (g)	52.07±14.15	53.32±8.83	0.52
各象限が有する割合			
第 1 象限	0.45±0.09	0.41±0.12	0.01
第 2 象限	0.39±0.09	0.35±0.11	0.00
第 3 象限	0.09±0.09	0.15±0.12	0.00
第 4 象限	0.06±0.07	0.10±0.09	0.00
平均値 (g)	0.25±0.07	0.24±0.05	0.17

RMSは平地歩行と比較して有意に大きくなり、不整地歩行では動揺性が大きくなるとされているため⁹⁾、ハイヒール着用下の歩行は不整地を歩行している状況と一種の近似性がある可能性が示唆された。また、水平面における左右・前後加速度データから、ハイヒール条件において、後方への加速度が生じる時間が長いこと、前方へ生じる加速度が小さく、後方へ生じる加速度が大きいこと、側方への大きな加速度が生じ、特に後方側方において顕著であることが明らかとなっており、これらの仮説を支持していると考えられた。

本研究は、先行研究を追認する結果となったこ

とに加え、本研究の被験者特性を鑑みると、ハイヒールに対する得意・不得意による交絡要因を除外できた結果として意義があり、ハイヒールを上手く履きこなすための有用な情報となり得る。すなわち、スニーカーとハイヒールの間には、靴としての機能的特性差があり、いかにハイヒールを履きこなしても、ハイヒール着用下においてはスニーカーと同様の歩容を再現する必要はないと推察される。女性がハイヒールを履く動機の一つは、歩行の女性らしさを人工的に高めることであり、フラットシューズを履いた女性よりも、ハイヒールを履いた女性の方が有意に魅力的だと判断され

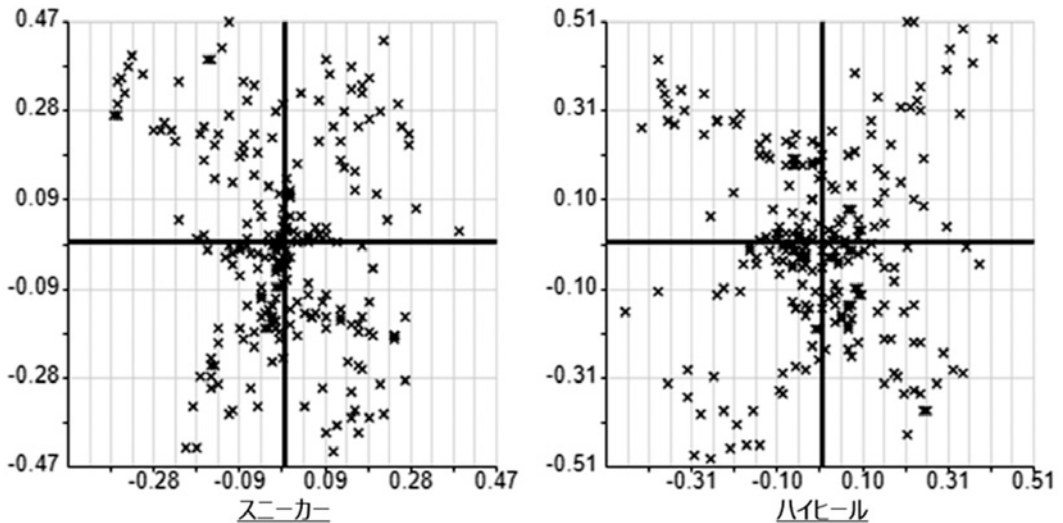


図7. 水平面における左右・前後加速度データのプロット図の典型例

たとの報告²⁾もあるため、今後はハイヒールの着用が苦手な被験者のデータを収集・解析し、本研究結果との比較により、ハイヒールを履きこなせるようになるための有用な加速度特性を見出したい。

本研究の限界について、まず、本研究におけるデータ収集はコンテスト開催者等の協力を得て、コンテスト出場のための様々な準備が行われている会場にて実施したため、コンテスト規定の支給された特殊な形状のハイヒールを使用した点が挙げられる。ヒール靴の構造が立位や歩行に与える影響¹⁰⁾について、数多く報告されていることは留意すべきである。また本研究の被験者特性および十分な練習が実施されたことを考慮しても私物のスニーカーと比較すると不慣れであった可能性や、比較対象としてより適切な種類の履物についても今後検討すべきである。さらに、本研究は通常歩行での検証であるが、コンテスト出場者が日々練習を行っている、コンテスト特有の歩容が反映された可能性もあり、結果の解釈には注意が必要である。しかしながら、本研究は現状で実施可能な取り組みについて、積極的に実行すべきであることを明示した報告として意義深いと考えられる。

結 語

ハイヒール着用に慣れた被験者において、スニーカーおよびハイヒールの歩行状態を比較すると、歩行速度が遅く、歩幅が小さく、上下左右前後のRMSが大きかった。また、水平面における加速度特性において、ハイヒール着用下では、後方への加速度が生じる時間が長い、前方へ生じる加速度が小さく、後方へ生じる加速度が大きい、側方への大きな加速度が生じ、特に後方側方において顕著であることが明らかとなった。今後は、ハイヒールの着用が苦手な方との比較により、ハイヒールを履きこなせるようになるための有用な加速度特性を見出していく必要がある。

文 献

- 1) 寺本 司. 動物の進化, 人の歩行, 脚, 足, 靴, そして関節外科の将来は? 靴の医学 2020; 34: 137-47.
- 2) Morris PH, White J, Morrison ER, et al. High heels as supernormal stimuli: How wearing high heels affects judgements of female attractiveness. *Evol. Hum. Behav.* 2013; 34: 176-81.
- 3) 平井 茜, 青木 修, 伴由衣菜他. ハイヒール歩行が立脚初期に膝関節屈曲角度を増大させるメカニズム. *理学療法科学* 2015; 30: 155-9.

- 4) Cronin, N. J. The effects of high heeled shoes on female gait : A review. *J. Electromyogr. Kinesiol.* 2014 ; 24 : 258-63.
- 5) 布施谷節子, 柴田優子. ハイヒールの歩容に関する三次元的解析. *和洋女子大学紀要* 2012 ; 52 : 141-51.
- 6) Ito T, Ota Y. Comparison of gait analysis between a triaxial accelerometer-based device and an optical motion capture system. *Preprints (www.preprints.org)* 2020 ; doi : 10.20944/preprints202012.0336.v1.
- 7) Bohannon RW. Comfortable and maximum walking speed of adults aged 20—79 years : reference values and determinants. *Age Ageing* 1997 ; 26 : 15-9.
- 8) Wiedemeijer MM, Otten E. Effects of high heeled shoes on gait. A review. *Gait Posture* 2018 ; 61 : 423-30.
- 9) Menz HB, Lord SR, Fitzpatrick RC. Acceleration patterns of the head and pelvis when walking on level and irregular surfaces. *Gait Posture* 2003 ; 18 : 35-46.
- 10) 阿部 薫. 靴のファッションと機能の両立—ヒール靴と足部の適合性に関する研究—. *靴の医学* 2020 ; 34 : 155-65.