

## ハイヒール靴による階段昇降への影響

川端 博子\*・鎌田紗矢子\*\*

キーワード：ハイヒール、歩行、階段昇降、動作解析、足圧分布

### 1. 緒言

市販されているヒール靴はデザインが豊富で、価格も安いものから揃っており、消費者は安易に選んでしまう傾向がある。しかし、これまでなされてきた靴の研究によると、ハイヒールでは歩行の安定性が低下すること<sup>1)</sup>、歩容や姿勢に影響すること<sup>2-4)</sup>、外反母趾の引き金となること<sup>5)</sup>、筋電図の波形やエネルギー消費から生体への負担が増加すること<sup>6-7)</sup>などが報告されている。外出時には靴なしでは済まされず、靴はわれわれの体の一部となるものである。流行やおしゃれを追求するばかりに機能性や安全性をおろそかにしがちな現状に対し、ハイヒール着用時の下肢の動きと前後バランスに関するデータを提示することを本研究の目的とする。

前報<sup>8)</sup>ではミュールサンダルを例に、平地歩行時における運動機能性について調べた。今回、ヒール高の異なるパンプスを取り上げ、階段昇降に焦点をあてた。階段昇降は、歩行負荷が大きく安定性や疲労面で問題となるにもかかわらず、計測の難しさから研究例は少ない。歩行速度、階段昇降時の下腿部の動作分析および足圧分布の比較をもとに、ハイヒールが運動機能性に及ぼす影響について考察する。

### 2. 方法

#### 2. 1 靴の選定

本実験では、バレエシューズ、ヒールの高さを違ったパンプス2種をテストした。

過去7例の研究結果をまとめた永田らの報告<sup>2)</sup>によれば、ヒール高の推奨域は評価項目で異なっており、20~60mmまで幅がある。近藤<sup>9)</sup>は、3cm未満のローヒール、3cm~7cm未満の中ヒール、7cm以上のハイヒールに分類してヒールの影響を調べており、これらを参考にヒール高を決定した。

図1には実験靴の外観を示した。バレエシューズはヒールなしの靴または素足の代用とみならず。2008年春に若年女性向けの靴販売店と通信販売カタログを調査し、シンプルかつ似かよった形状と材質(エナメル)で、ヒール高の異なるパンプス2種を選定した。中ヒールは、ヒール高3cm、楕円形ヒール底(長径2.2cm×短径1.8cm)、価格:1,980円である。ハイヒールは、ヒール高8cm、半楕円形ヒール底(2.1cm×1.1cm)、価格:3,990円とした。以降、バレエシューズをS0、パンプス2種をそれぞれP3、P8と表記する。

バレエシューズとパンプスP8には23.0、23.5、24.0、24.5cm、パンプスP3にはMとLのサイズを用意した。被験者には最もサイズの合う靴を選んでもらい、ストッキングとともに着用させ

\* 埼玉大学教育学部家政教育講座

\*\* 埼玉大学教育学部家政専修20年度卒業生



図1 実験靴の外観

表1 被験者の特性と靴の説明

		年齢	身長 (cm)	体重 (kg)	足長* (mm)	足幅* (mm)	靴の説明とサイズ		
歩行実験 (n=20)	平均	20.0	158.0	49.6	—	—	バレエシューズ S0	パンプス (ヒール高3cm P3)	パンプス (ヒール高8cm P8)
詳細分析実験 (n=6)	A	21	147	46	218	90	23	M	23
	B	19	159	47	228	82	24	L	24.5
	C	19	163	60	227	83	24	L	24
	D	19	155	47	223	82	23.5	M	23.5
	E	21	158	46	217	81	23.5	L	24
	F	22	153	43	215	86	23	M	23

\*フットスタンプをもとに推定

た。

## 2. 2 被験者

歩行所要時間の計測対象者は年齢21~23歳(平均20歳)の大学生女子20人である。この実験結果をもとに、平均的な歩行傾向でかつヒール靴に慣れている被験者6人を、詳細な分析対象者として選定した。被験者の身体的特性と足サイズを表1にまとめた。

## 2. 3 歩行に要する時間計測

平地歩行実験では、キャンパス内の傾斜のないアスファルト舗装道路15mの歩行所要時間をストップウォッチで計測した。階段昇降実験は、屋外コンクリート階段15段(踏み面30cm、蹴上げ15.5cm)で行い、昇り・降りの順に所要時間を計測した。最初にバレエシューズを履いて

一通り練習し、本番では、バレエシューズとパンプスを履く順序はランダムとした。平地歩行は2回、階段昇降では各3回の平均を各被験者の計測値とし、20人分の結果をもとに考察した。

## 2. 4 階段昇降時の下腿部の動作分析

被験者6人について、2. 3の階段昇降における膝下の動きを側面に固定したデジタルカメラで1/60秒で動画撮影した。被験者の歩行が安定すると思われる地点にカメラを固定し、昇りでは右脚、降りでは左脚を観察対象とした。観察する側の足部が着地した瞬間を始点とし、次の段にもう一方が着地、その次の段に観察側の足部が着地する間を1歩とした。

計測点の位置を図2にまとめた。計測点には直径2cmの反射玉をつけ、2次元動作分析装置((株)ライブラリー)でXY座標値を追跡

した。計測点は計測側の脚部（下腿部と足部）に8点設置したが、見え隠れなく追跡が可能な6点について解析する。②脛側点と③外果突点の2点は人体上に、④第4指付根⑤靴先端⑦トップリフト⑧ヒールベースの4点は各靴上にある。バレエシューズでは⑦と⑧は一致するため、計測点は7点とした。

## 2. 5 静止時・階段昇降時の右足荷重圧分布

足圧計測装置F-スキャン（ニッタ株式会社）を用いて、靴の足底形に受圧面を切り取り、立位静止時と階段昇降時で、右足の荷重分布と荷重中心位置をとらえた。被験者6名について、立位静止でキャリブレーションの後、1分間76段の一定テンポで10段の階段昇降を行い、その間の荷重圧を計測した。データは、1コマ1

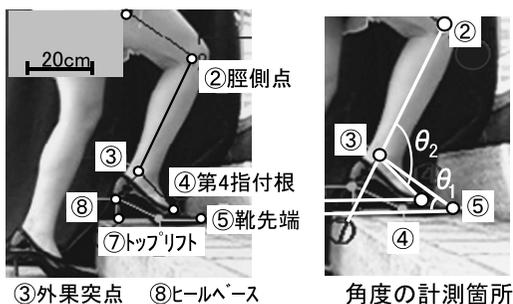


図2 計測点の説明

/50秒で8秒間取り込み、400コマ分を採取した。装置設置の制約から屋内のPタイルの階段（踏み面29.5cm，蹴上げ20cm）で実施した。

## 3. 結果と考察

### 3. 1 歩行速度

#### 3. 1. 1 平地歩行

図3には、20人分の結果に基づく、靴種ごとの平地歩行の速度と階段昇降1段あたりの所要時間の平均値を示した。図中のバーは標準偏差である。

図3（左）に示したヒール高ごとの歩行速度（km/h）（平均，標準偏差）は、それぞれS0（4.91，0.73）、P3（4.73，0.64）、P8（4.33，0.62）であり、ヒールが高くなるにつれ速度は低下した。分散分析では有意差（ $p < 0.05$ ）がみられたが、歩行速度には個人差も大きく、多重比較で平均値に有意差がみられたのは、S0とP8間（ $p < 0.05$ ）のみであった。しかし、S0の速度がP3を超える者は12名、P3がP8を超える者が17名いたことから、ヒールが高くなるにつれて歩行速度は低下するとみなされる。S0とP3の差よりP3とP8の差が大きく、平地歩行においてP8は最も機能性に劣ることが示された。

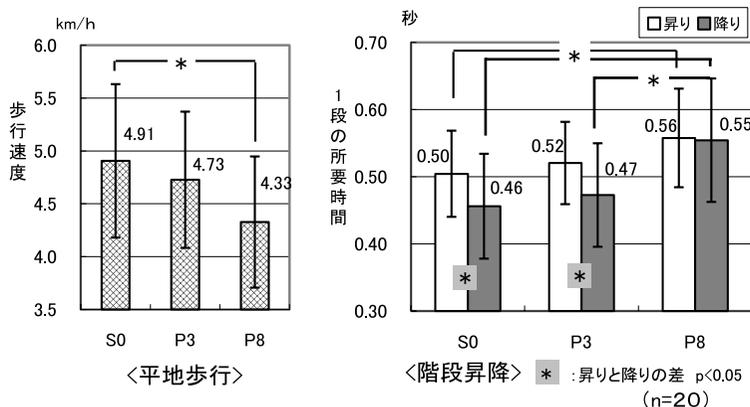


図3 平地歩行と階段昇降の速度

### 3. 1. 2 階段昇降

図3(右)に示すように、1段当りに昇りに要した時間(秒)(平均, 標準偏差)は、それぞれS0(0.50, 0.06)、P3(0.52, 0.06)、P8(0.56, 0.07)であった。分散分析で有意差はなかったものの、ヒールが高いほど所要時間は長かった。多重比数では、S0とP8間で所要時間に有意差( $p < 0.05$ )がみられた。

降りでは、S0(0.46, 0.08)、P3(0.47, 0.08)、P8(0.55, 0.09)であった。分散分析で有意差( $p < 0.01$ )があり、ヒールが高いほど所要時間も長かった。多重比較では、S0とP3以外のすべての組み合わせ間で有意差( $p < 0.05$ )がみられた。

ヒール高にかかわらず、昇りに要する時間は降りよりも長くかかっていた。P8では、降りに要する時間が長いため、昇りと降りの時間に有意差はなかった。以上より、ヒールの高いP8は平地歩行・階段昇降ともに機能面で最も劣り、とりわけ降りにおいて支障がはっきりと現れた。

## 3. 2 階段昇降時の動作分析

### 3. 2. 1 側面観察による下腿部の動き

ヒール高によって下腿部の動きはどのように

異なってくるか、側面からの撮影画像をもとに考察する。図4には昇り・降りの計測点②脛脛点、③外果突点、⑤靴先端、⑦トップリフトのS0とP8の軌跡を、被験者Aについて例示した。6人の歩行形態と速度には個人差がみられたが、以下に共通の特徴を記述する。

図4(左)には昇りの軌跡を示した。右脚は膝を曲げたまま足裏全体で着地する。着地後、②を中心とし大腿部の前傾と上体起こしが進行し、右脚膝角度は刻々と大きくなる。左脚の前進によって左膝が右膝を追い越す頃、②は進行に逆行して後方移動を開始する。この間も右脚膝角度は大きくなり、上体を持ち上げる。左足裏が次の上段に着地する手前で、右脚の膝は真っ直ぐ伸びたまま③を中心に回転しながら、②は再び前方へ移動を始める。その後、③は⑤付近を中心とする回転運動をしながら踵を上げて段を蹴り、空を移動する。右脚は膝を曲げながら②では斜め上約30度に直進するのに対し、③では円弧を描くような軌跡を描き、やがて右足裏が次の段に着地して1歩が完了する。

⑦踵の着地位置が、被験者F以外ではP8が最も階段奥側にあったのは、ヒールが確実に段に乗るように調節しているからであろう。しかし、その他の計測点の軌跡からはヒール高によ

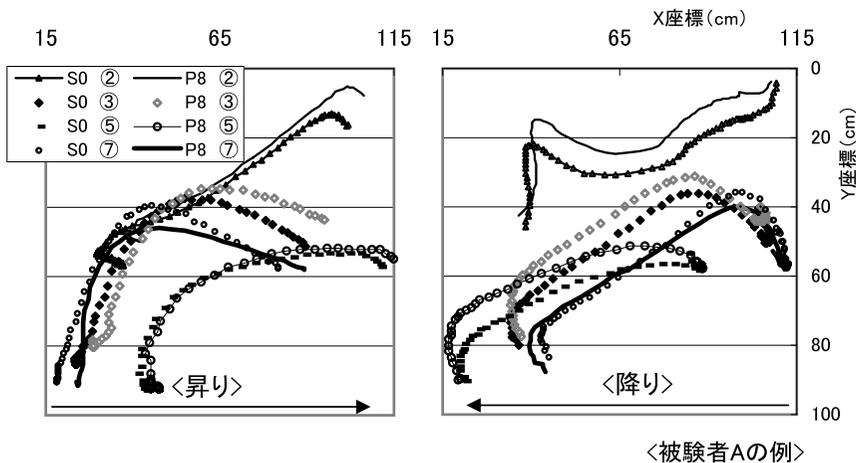


図4 階段昇降時の計測点の軌跡

る違いを捉えることができなかった。

図4(右)は降りの軌跡である。つま先から左足裏全体で着地した直後、下腿部は③を中心に回転する。左脚で体重を支え、右脚は下方へ前進するが、左足部に動きは見られない。右脚が下段に着地するや否や左足踵は⑤付近を中心に回転しながら踵を上げて段を蹴り、空を移動する。左脚は膝を曲げながら移動するが、下段に到る頃に膝は伸びた状態となり、左足つま先から踵へ速やかに着地する。

靴先端⑤の軌跡には、S0とP8ではっきりと違いが現れている。P8では高く空を蹴り、歩幅を調節し着地点を探しているようである。しかし、それ以外でヒール高による軌跡の違いを捉えることはできなかった。

### 3. 2. 2 所要時間の分析

画像をもとに、1歩を5つのシーンに分割し、所要時間からヒール高と動きについて考察した。図5(左)は、昇りに要する6被験者の平均所要時間をシーン別・ヒール高別に比較したものである。(1)右足踵の接地開始から足裏全面に要する着地時間と(2)右脚への体重移動時間には、ヒール高による差がみられない。(3)右脚のみで体重を支える時間には個人差が大きく、ヒール高の差はない。(4)左脚への体重移動においてもヒール高による時間差は少なかった。これらのことから、昇りのどのシーンもヒール

高による差はなく、ヒールの及ぼす運動機能への影響が少ないことに結びついたと考える。

図5(右)の降りでは、ヒールが高い時、(1)踏み込み時につま先から足裏全面への時間が短くなるが、(1)(2)の合計ではヒール高による差は少なかった。(4)踵をもち上げ体重が一方から他の脚へ移動する時間は、ヒールが高い時短かった。しかし、(3)と(5)で示される片足で体を支える時間はヒールが高いと長くかかるため、全体としては所要時間が増加した。

全体として、ヒール高による違いは昇りで見られず、降りでは所要時間が長くなる傾向であった。

### 3. 2. 3 蹴り上げ時の足甲の回転角度

計測点③と⑤を結ぶ線が地面となす角度 $\theta_1$ (図2参照)を足甲の角度とみなし、図5(4)シーンにおける初期角度と最終角度の差より足甲の回転角度を求めた。図6には、被験者ごとの回転角度をヒール高別に示し、平均的傾向の被験者Cについては、ステックピクチャーを例示した。

図6(左)は、昇りの結果である。(被験者FのP8は欠損)被験者AとBではS0とP3の傾向は逆転したが、どの被験者もP8の回転角度が最小であった。スティックピクチャーで示されるように、蹴り上げの最終角度にヒール間で差はみられない。従って、ヒールが高い靴では

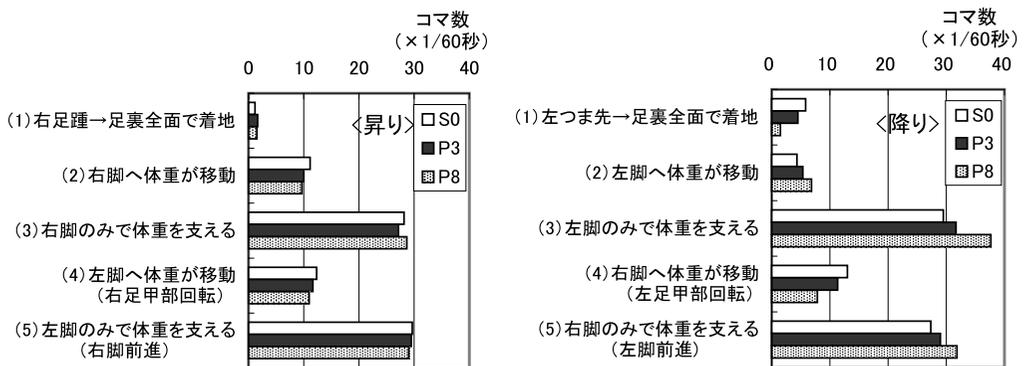


図5 1歩間のシーン別所要時間の分析

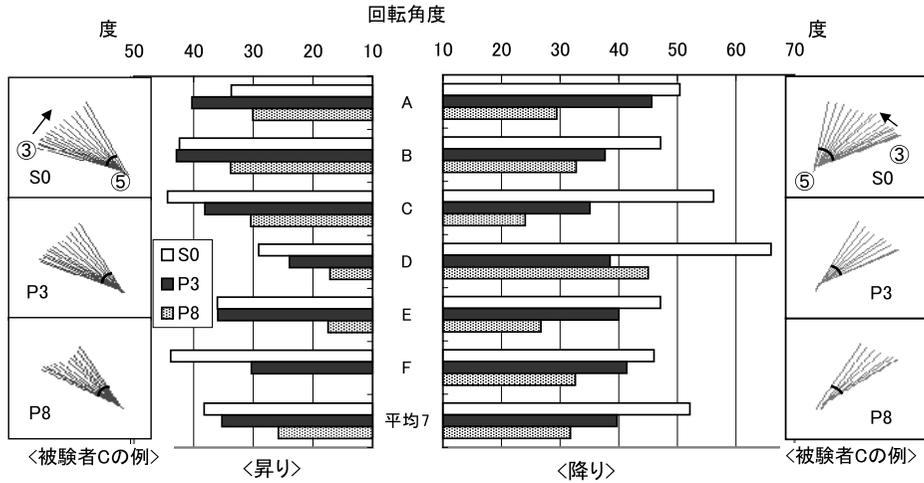


図6 足甲の回転角度とスティックピックアップ

甲の傾斜が大きい分、蹴り上げ時に足甲の回転が少なくて済むため、必ずしも不利にならないと考える。一方、S0では回転角度が多いにもかかわらず図5(4)シーンの所要時間にP8と大きな違いがなかったことから、速やかに回転運動がなされると推察される。

図6(右)は降りの結果である。回転角度は、P3とP8で傾向が逆転する者が1名(被験者D)いたが、全体としてはヒールが高いほど回転角度が小さくなった。回転角度は昇りより大きく、かつヒール高の違いもはっきりと現れた。スティックピックアップからも、S0では初期角度が小さくかつ最終角度も大きいことが示され、足甲の自由な回転運動が捉えられる。しかし、P8では最終角度・回転角度は共に小さく図5(4)シーンの時間が短い、その前後(図5の(3)(5)シーン)に要する時間も長く、全体として所要時間が長くなると考える。

### 3. 2. 4 1歩間の平均足首角度

図7には、昇り・降りの足首角度に相当する $\theta_2$ ( $\angle 2\textcircled{3}4$ , 図2参照)の一步間の平均を、被験者ごとに、ヒール高別に示した。

図7(左)昇りの足首角度は、S0とP3の差は少なく逆転する者もあるが、P8はどの被

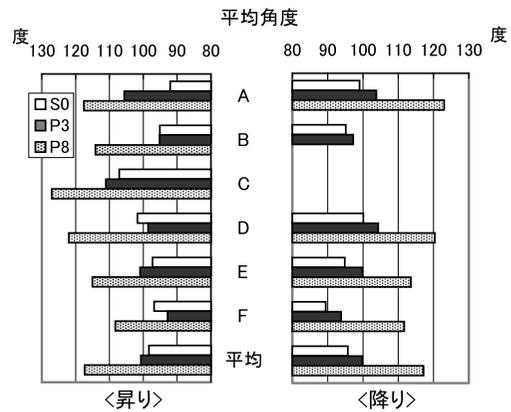


図7 平均足首角度 ( $\angle 2\textcircled{3}4$ )

験者も最大となっている。立位時にP8とS0で約 $25^\circ$ の角度差があり、ヒールが高い時には常時前足部(甲)の筋肉が伸びた状態である。図7(右)降り(被験者BとCで一部欠損)においても、すべての被験者でS0が最小でP3、P8の順に大きくなった。

即ち、昇降時ともヒールが高いとき前足部の筋肉が伸びた状態で階段を昇降している。

3. 2. 3で記述したように、P8では足甲の回転角度が最も少なく、ヒールによってあおり

運動が制限されていた。一方で、このことが足部を小さく前足部をすっきりとみせ、外観をよくするハイヒールの効用となっているといえよう。

### 3. 3 足圧分布

#### 3. 3. 1 階段昇降時の総荷重

400コマの計測において、4～5段昇降分の総荷重値の波形が得られた。個人差はあるが、同一の被験者内で概ね再現性がみられたため、主に3番目の波形について考察していく。階段昇降時の総荷重の変化を図8に被験者Aについて例示した。

図8（左）の昇りの波形を観察すると、踏み込み時に体重が掛かると速やかに総荷重が上昇し、その後、一旦低下する。蹴り出し時には再度ピークが現れ、体を支え持ち上げる荷重値が最大となる。S0では、全ての被験者で蹴り出しの総荷重は最低となった。これは、動作分析3. 2. 3で記したように、踵の回転運動によって、踵からつま先への体重移動がスムーズにされたためと考える。P8では、ヒールの傾斜によって蹴り出しのピークが最も遅く現れたが、総荷重値にはP3と差がみられなかった。

図8（右）には降りの総荷重値の変化を示した。衝撃によって着地直後の総荷重が最大となるが、ヒール高による違いはみられない。後半

の蹴り出しではS0の総荷重値は最低となった。しかし、P3とP8のピークと時間には、被験者間のバラツキもあり、ヒール高との関連は明らかにできなかった。

#### 3. 3. 2 荷重中心の軌跡とピーク荷重

立位静止時の荷重中心は、ヒールが高くなるにつれ、荷重が足先に偏る傾向が観察されたものの、荷重中心の軌跡からは、動揺（ふらつき）の程度に違いは認められなかった。

図9は、被験者Bを例とする、階段昇降時の荷重中心の軌跡と1歩間のピーク荷重（1歩間の各セルの最大値）である。図9（上）昇りにおいて、踏み込み時にはヒールが高いほど荷重中心は明らかに前方寄りとなった。蹴り出し時の荷重中心位置とヒール高にははっきりとした傾向がみられなかったが、1歩間にS0の軌跡は前後に長く移動しており、これらは前後バランスの自在さを表すと推測する。ピーク荷重の分布では、S0、P3、P8の順につま先付近の値が濃く高い値となっており、ヒールが高い時、踵に近い足裏に荷重されない様子が捉えられる。

図9（下）降りでは、着地直後の踏み込み時、つま先に大きな荷重が及ぶがヒール高の違いは認められない。しかし、ヒールが高い時、その後の荷重中心の前後動は少なく、後部に荷重がかからない。また、P8は、S0とP3に比べ踵部分のピーク荷重が低いことから、足裏後部

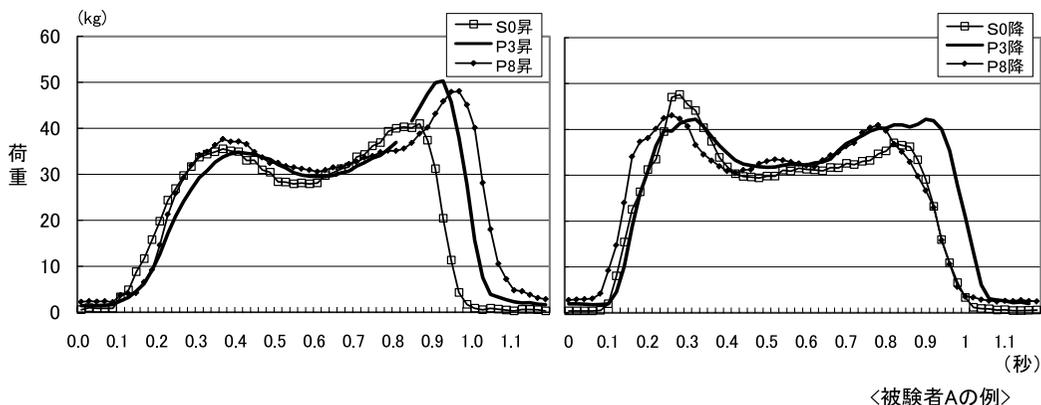
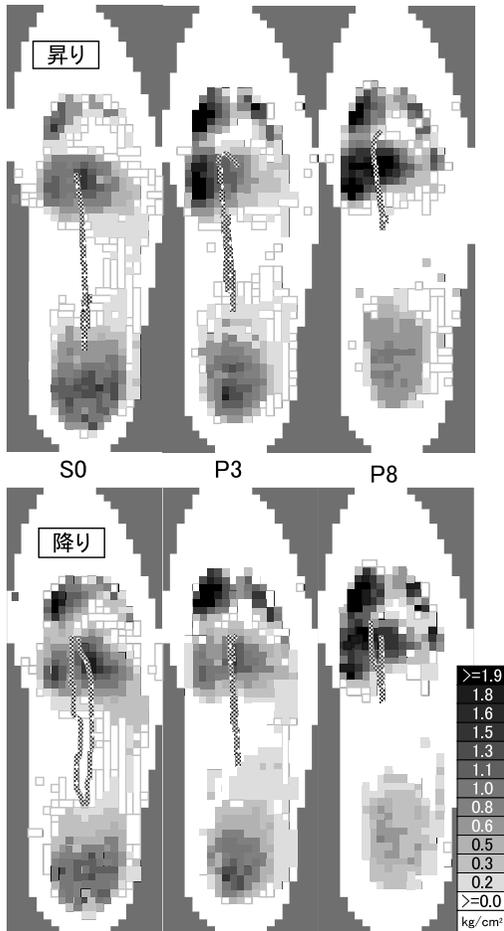


図8 1歩間の総荷重の変化



〈被験者Bの例〉

図9 1歩間のピーク荷重と荷重中心の軌跡

で体重を支えていない様子が捉えられる。

以上のことから、ヒールによって前後の重心バランスに変化が生じてくることが示唆されたが、この点については歩容を全身で把握し、分析していくことが必要と考える。

#### 4. まとめ

本研究では、バレエシューズとヒール高3 cmと8 cmの2種のパンプスを比較し、歩行への影響を調べた。歩行速度と、階段昇降時の下腿部動作分析および足圧分布をもとに、ヒール

による運動機能性への影響について考察した。

- (1) 被験者20名を対象に、平地歩行と階段昇降の所要時間を計測した。ヒールが高い程、平地歩行の速度が低下する傾向がみられた。階段昇降でも所要時間が増加し、とりわけ降りに影響が生じた。
- (2) 被験者6名を対象に、階段昇降時における下腿部の動きについて動作分析を行った。ヒールが高い時、足首角度は大きく前足部の筋肉が伸びた状態で歩行がなされ、足部の自在なあおり運動がみられない。降りの際の蹴り出し時には、ハイヒールは足甲の回転角度も所要時間も少ないが、蹴り出し前の体重移動と浮き足の着地に時間を要するため、所要時間も長くなったと考える。
- (3) 足圧分布の計測をもとに、ヒールによる階段昇降時の運動機能性への影響について考察した。踏み込み時の総荷重値にはヒール間で違いはみられなかった。蹴り出し時の総荷重値は、昇り・降りともにバレエシューズで最低となったが、ヒール高3 cmと8 cmに違いは見られなかった。
- (4) ヒールが高くなる程、足圧分布は昇り・降りともに荷重が足先に偏る傾向となった。また、荷重中心は前後方向への移動量が少なくなり、ピーク荷重は踵で小さくなった。このことから、ヒールの高い靴の着用は、前後の重心バランスに影響をもたらすことが示唆された。

今後は、ハイヒール着用による生理面への影響を含めた実験を行い、動作機能性を総合的に考察していくことが課題である。

#### 引用文献

- 1) 永田久雄：ハイヒール歩行の危険性について、靴の医学, 10, 20-24 (1996)
- 2) 永田久雄・大野央人・小美濃幸司：水平加速外力に対する靴ヒール高別の立位姿勢の保持

- 限界に関する研究, 人間工学, 32 (6), 1-9 (1996)
- 3) 岡田宣子: 足の踵の高さが中年女子の立位保持姿勢に及ぼす影響, 人間工学, 40, 155-162 (2004)
- 4) 酒井豊子・牛腸ヒロミ編著: 衣生活の科学, 85-88, 放送大学教育振興会 (2002)
- 5) 吉田敬一他: 衣生活の科学, 60-61, アイ・ケイコーポレーション (1999)
- 6) 大西憲和・斎藤真・平林由果・片瀬眞由美・栗林薫・塩之谷香: 筋電図解析による流行靴ミュールを着用した歩行時の生体負担, 人間工学, 41 (2), 51-56 (2005)
- 7) 山元佐和子・武井仁: 靴のヒール高が心肺機能に与える影響, 理学療法学, 第40回日本理学療法学術大会特別号, 32, 233 (2005)
- 8) 川端博子・松尾久美子: ミュールによる歩行への影響, 埼玉大学紀要教育学部, 56 (2), 103-112 (2007)
- 9) 近藤四郎: ひ弱になる日本人の足, 10-24, 草思社 (1993)
- (2009年9月30日提出)
- (2009年10月16日受理)

# Influence of High-heeled Pumps on Movement in Ascending/Descending of Stairs

Hiroko KAWABATA and Sayako KAMADA

Keywords : high-heeled pumps, walk, ascending and descending of stairs,  
motion analysis, pressure distribution on sole

Movements of the lower legs and feet during ascending and descending of stairs were observed, and flat shoes, 3cm-heeled pumps, and 8cm-heeled pumps were compared with respect to their functional mobility. The results were as follows:

(1) Twenty female university students participated in the test, which involved measuring the length of time required to walk a certain distance and to ascend/descend stairs. When the subjects were wearing high-heeled pumps, the length of time required to walk a certain distance increased, and the time required to descend stairs increased remarkably.

(2) Further observation was carried out for six female students when they ascended and descended stairs, and the movements of their legs and feet were analyzed. When the subjects were wearing high-heeled pumps, the angle between the leg and instep became larger than when they wore other types of shoes, the muscle of the instep was continuously extended, and the rotation of the ankle became smaller; these facts indicate that high-heeled shoes restrict free movement of the leg and foot.

(3) Pressure distribution on the sole was measured to examine the mobility function of high-heeled shoes. When the subjects stepped on the ground, there was no difference in the total pressure applied to the sole according to the type of shoes. When they kicked the ground, however, the total pressure on the sole was the smallest for the flat shoes. As the heels of the shoes became higher, more pressure was applied to the front part of the sole, and the transfer of the pressure position during motion became smaller. As a result, it was revealed that high-heeled shoes had an influence on antero-posterior balance of the foot in walking movement.