

# Foot and Ankle Kinematics in Walking with Various Types of Shoes

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-03 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2297/341">http://hdl.handle.net/2297/341</a>

# 各種履物からみた歩行における踵の動き

山本 博男, 中嶋 芳邦\*, 松永 一成\*, 道用 亘\*, 尾原 陽介\*\*

## Foot and Ankle Kinematics in Walking with Various Types of Shoes

Hiroh YAMAMOTO, Yoshikuni NAKAJIMA, Kazushige MATSUNAGA  
Wataru DOH-YOH, Yohsuke OHARA

### 目 的

欧米では「サラリーマンの10~15%は靴に消費せよ」と言われる程、履物は日常生活に必要な道具として認識され、日本においても古くは下駄に始まり、数多くの履物がある中、外出時には、今日欠かすことのできない道具の一つである。スポーツの分野においても、シューズメーカーがトップアスリートをサポートしているように、履物がスポーツパフォーマンスの向上や身体運動に影響を与えており、様々な研究がなされている。

石毛(1961)<sup>8)</sup>は、様々なヒールとエネルギー消費の関係を比較し、ハイヒールは日常生活に不適當であると報告している。Adrianら(1964)<sup>9)</sup>は、カウボーイブーツ着用時の歩行を調べ、Gollnickら(1964)<sup>5)</sup>は、ハイヒール着用時歩行における膝関節及び足関節の角度変化を報告している。Ricciら(1964)<sup>14)</sup>は、ローヒールとハイヒールを使用した被検者のアーチ高を調べ、ハイヒールが0.4cm高くなると報告している。Merrifield(1971)<sup>13)</sup>は、ハイヒールとフラットシューズの歩行パターンを比較し、ハイヒール着用時は歩幅が短くなると報告している。佐野ら(1977)<sup>16)</sup>は、スポーツシューズとハイヒール着用時歩行の姿勢やエネルギー消費について調べ、ハイヒールを着用すると前傾姿勢

になり、エネルギー代謝の面からも効率のよくない歩行になると報告している。

Clarkeら(1983)<sup>3)</sup>は、ランニング中における距骨下関節の回内角及び回外角について、シューズにおけるソールデザインの違いによる比較を行ったところ、ソールが軟らかい方が回内角及び角度変位が大きく、ソールに広がりのある方がない方より最大回内角及び角度変位が大きくなると報告している。Jonesら(1984)<sup>10)</sup>は、運動靴と軍用革製ブーツを着用した場合の歩行及び走行におけるエネルギー消費量を報告している。Fredericksら(1986)<sup>4)</sup>は、ランニングシューズにおけるソールの硬さとエネルギー効率の関係について調べ、Soamesら(1987)<sup>17)</sup>は、素足と色々な種類の靴を着用した場合における床反力を報告している。Niggら(1987)<sup>12)</sup>はソールにおける形状の違いによるランニング中の回内角及び床反力について調べ、ソールの形状によって全回内範囲及び床反力には違いがなかったが、ソールの広がりのある方が接地初期に回内角が増加すると報告している。Hamillら(1988)<sup>6)</sup>は、シューズの違いによるエネルギー消費量と距骨下関節における回内の大きさを調べ、最大回内角と回内範囲はレーシングシューズの方がトレーニングシューズより大きかったが、エネルギー消費量に差はなかったと報告している。Stacoffら(1992)<sup>18)</sup>は、シューズに小窓をあけ、ランニング中における踵の動

平成6年9月16日受理

\* 金沢大学大学院

\*\* ㈱中央精機・人事部

きを観察し、シューズの動きが踵より大きいことを報告し、また、Reinschmidtら(1992)<sup>13)</sup>は、サイドステップにおける踵の動きとシューズの動きを比較し、シューズの動き方が大きかったと報告し、更に素足とシューズ着用時を比較し、シューズ着用時の方が踵の内反が大きくなる傾向があると報告している。

以上のように履物は、身体のエネギー代謝や下肢関節の動きに様々な影響を及ぼしているが、健康面から考えると、素足における足関節の生得的な運動を制限しているとも言える。しかしながら現代社会に生活する我々にとって履物は日常生活にかかせない道具の一つである。即ち、足の自然な運動を妨げない履き物を使用することが健康にとって望ましいと考えるならば、様々な履物を使用した場合に、身体にどのような影響を及ぼすか実験的に調べればよいのではないかと考えた。従って本研究の目的は、日常一般生活の中で自然に行われる動作として歩行をとり上げ、立脚相における距骨下関節の回内及び回外運動に着目し、素足歩行時と各種履物着用歩行時での運動パターンを比較し、履物が足に及ぼす影響について調べることであった。

## 方 法

被検者は金沢大学男子学生10名及び女子学生10名であった。被検者の身体的特性を表1に示す。全ての被検者は左下腿及び足部後方にマー

カーをつけ、素足及び種類の異なる履物を履いて、トレッドミル上を4.7km/hの速度でそれぞれ

Table 1. Physical characteristics of subjects

	Males Mean(S.D.)	Females Mean(S.D.)
Age (yr)	22.0(0.8)	21.6(1.3)
Height(cm)	171.5(2.6)	161.9(5.3)
Weight(kg)	64.9(3.5)	56.0(2.2)

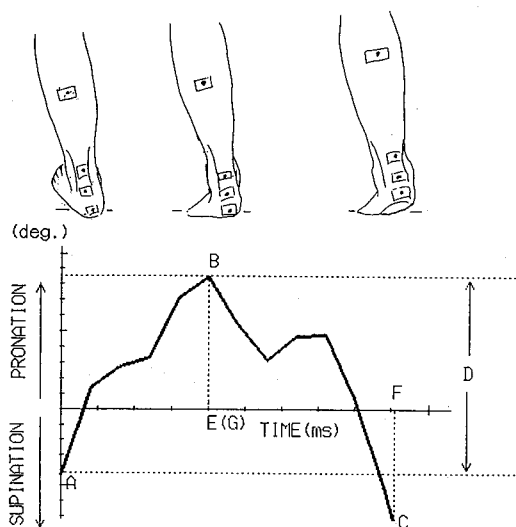


Figure 1. Rearfoot angular displacement from a selected subject beginning at heel strike and continuing for heel off. Parameters measured from this data are: A) touch-down angle, B) maximum pronation angle, C) heeloff angle, D) total rearfoot movement, E) time to maximum pronation, F) total heel contact time, G) relative time to maximum pronation.

Table 2. Characteristics of test footwear for males

	Marathon shoes	Jogging shoes	Leather shoes	Geta	Atuba
Frontfoot-sole thickness(cm)	1.0	2.0	0.9	5.0	7.7
Heel-sole thickness(cm)	2.0	3.5	3.0	5.0	7.7
Heelheight(cm)	1.0	1.5	2.1	—	—
Heelwidth(cm)	6.8	8.1	8.1	11.9	10.4
Weight(g)	165	350	450	215	330

れ2分間歩行した。履物は、男性被検者はマラソンシューズ、ジョギングシューズ、革靴、下駄、厚歯を使用し、女性被検者はローヒール、ハイヒール、マラソンシューズ、下駄を使用した。履物の特性を表2及び表3に示す。歩行中の被検者の後方7.5m、レンズ高0.9mから各試

行最後の10秒間をビデオ撮影し、SONY社製座標解析システムにより左足踵接地中における距骨下関節の回内角及び回外角を算出した。本研究では、回内 (Pronation) を正の角度、回外 (Supination) を負の角度とした。動作解析は、被検者1名につき各試行で3回の連続した接地

Table 3. Characteristics of test footwear for females

	Lowheels	Highheels	Marathon shoes	Geta
Frontfoot-sole thickness(cm)	—	—	1.0	4.5
Heel-sole thickness(cm)	3.5	7.5	2.0	4.5
Heelheight(cm)	3.5	7.5	1.0	—
Heelwidth(cm)	1.8	0.9	6.9	8.0
Weight(g)	175	170	175	155

を解析した。本研究での測定項目は以下の通りである (図1)。

- A) Touchdown angle (TA)：踵が接地する瞬間のアキレス腱角。
- B) Maximum pronation angle (MPA)：接地中の最大距骨下関節回内角度。
- C) Heel off angle (HOA)：踵が床から離れる時のアキレス腱角。
- D) Total rearfoot movement (TRM)：MPAからTAを引いた角度。
- E) Time to maximum pronation (TMP)：踵接地から回内が最大になるまでの時間。
- F) Total heel contact time (THCT)：踵接地から踵離地までの時間。
- G) Relative thme to maximum pronation (RTMP)：THCTに対するTMPの割合。
- H) Pronation during standing (PS)：立位時のアキレス腱角。
- I) Stride length (SL)：10秒間の歩数から算出した平均ストライド長。

統計処理に関しては、測定項目における平均値の差の検定には一元配置分散分析法及びt検定を用いた。また、男女の比較には、t検定を用い、本研究における有意水準を5%とした。

## 結果と考察

### 1. 男性被検者について

HOA, THCT, SLにおいて履物間に有意な差 ( $p < 0.05$ ) が見られた (表4)。

HOAは、マラソンシューズが $-5.3 \pm 8.2$  deg, ジョギングシューズが $-5.2 \pm 7.0$  degであり、素足、革靴、下駄より有意に大きく回外した ( $p < 0.05$ )。THCTはジョギングシューズ、革靴、下駄、厚歯が素足、マラソンシューズより有意に長かった ( $p < 0.05$ )。また、革靴はジョギングシューズより有意に長く ( $p < 0.05$ )、このことは、重量の重い履物を履いたため、脚における前後の振子運動が大きくなったためと考えられる。SLは、革靴が $61.4 \pm 2.6$  cmであり、素足、マラソンシューズ、下駄、厚歯より有意に長かった ( $p < 0.05$ )。また、ジョギングシューズは $58.7 \pm 4.8$  cmであり、厚歯 $54.6 \pm 3.6$  cmより有意に長かった ( $p < 0.05$ )。これも脚の振子運動に起因すると推察される。下駄、厚歯は東(1994)<sup>2)</sup>の報告と同様、振子運動におけるエネルギーの損失が大きいため、他の履物よりSLが短かかったと考えられる。さらにTA, MPA,

Table 4. Mean values of measured parameters for each footwear for males

	Footwear						F value
	Barefoot	Marathon Shoes	Jogging Shoes	Leather Shoes	Geta	Atuba	
Touchdown angle (deg)	-3.7 (5.7)	-2.7 (4.3)	-1.7 (5.8)	-3.6 (3.7)	-2.4 (4.4)	-1.1 (5.1)	1.334
Maximum pronation Angle (deg)	7.6 (3.2)	6.6 (3.5)	7.3 (3.5)	6.7 (3.2)	7.0 (3.3)	6.4 (2.9)	0.533
Heeloff angle (deg)	1.5 (6.5)	-5.3 (8.2)	-5.2 (7.0)	-1.2 (6.9)	0.0 (5.2)	-1.9 (6.8)	4.920*
Total rearfoot movement (deg)	10.6 (4.8)	9.8 (5.1)	8.6 (6.6)	9.9 (5.3)	8.5 (5.3)	7.2 (3.9)	1.652
Time to maximum pronation (ms)	169.3 (91.1)	147.6 (88.6)	153.2 (127.2)	203.1 (123.2)	168.7 (108.9)	171.0 (121.4)	0.911
Total heel contact time (ms)	437.4 (58.4)	438.5 (43.8)	471.8 (44.7)	509.5 (32.9)	494.0 (56.1)	477.3 (86.3)	8.031*
Relative time to maximum pronation (%)	38.6 (17.1)	34.2 (19.4)	29.0 (21.9)	42.0 (21.5)	33.2 (23.9)	35.1 (26.1)	1.267
Pronation during standing (deg)	5.2 (4.4)	5.9 (5.1)	6.4 (3.2)	5.3 (2.6)	5.1 (3.7)	4.1 (3.5)	0.437
Stride length (cm)	54.9 (5.5)	57.2 (4.9)	58.7 (4.8)	61.4 (2.6)	56.3 (4.1)	54.6 (3.6)	3.453*

Numbers in parentheses are standard deviations.

\* Significant differences ( $P < 0.05$ ) were observed between footwear.

HOA の平均値を曲線で結んだ模式図を図2及び図3に示す。図より、素足に最も近い運動パターンを示した履物は下駄である。下駄は踵がある程度自由に運動できるからだろうと推察される。革靴も素足にかなり近い運動パターンであり、幅が広く、安定感があるためと考えられ

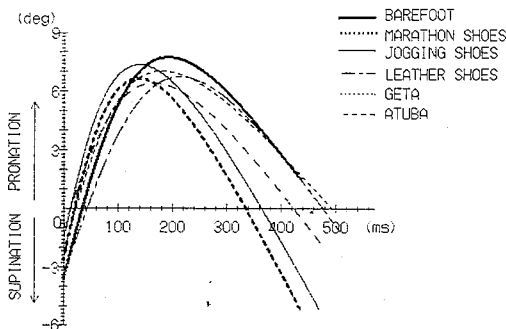


Figure 2. Model curve of rearfoot angular displacement for each footwear for males. (Absolute time)

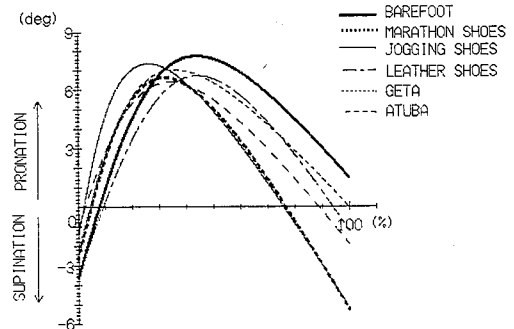


Figure 3. Model curve of rearfoot angular displacement for each footwear for males. (Relative time)

る。マラソンシューズとジョギングシューズは、特に踵接地後半において素足と異なるパターンを示した。これについては、2つの履物が走行用に作られていることが原因の1つとして考えられる。

## 2. 女性被検者について

MPA 及び TRM において、履物間に有意な差 ( $p < 0.05$ ) が見られた (表 5)。MPA はハイヒールが  $4.1 \pm 3.5 \text{deg}$  であり、素足、ローヒール、マラソンシューズに対して有意に小さかった ( $p < 0.05$ )。Ricci ら (1964)<sup>14)</sup> は、ハイヒールを履くと母指側への荷重を小さくし、歩行中における足底の体重移動が踵からつま先まで直線的になり、「あおり」運動を行わないと報告している。本研究で使用したハイヒールは、底面が直径 0.9cm の円形で左右のバランスが悪く、先行研究<sup>14)</sup> と同様のことが起こったためと推察される。TRM は、ハイヒールが  $7.1 \pm 3.9 \text{deg}$  であり、素足  $9.9 \pm 3.5 \text{deg}$  及びマラソンシューズ  $9.8 \pm 3.3 \text{deg}$  より有意に小さかった ( $p < 0.05$ )。これも MPA と同様、ハイヒールのため、「あおり」運動をしなくなることに起因すると考えられる。また、Soames ら (1987)<sup>17)</sup> はハイヒールのもつ不安定さが横方向へ足の荷重を十分にさせないと報告しており、本研究でのハイヒール

使用時における TRM の減少を示唆している。さらに、ハイヒールは、足関節が歩行中常に大きく底屈しており<sup>5)</sup>、足の外転、背屈、外反の複合運動である回内が制限されたことも MPA 及び TRM が小さかった理由として考えられる。男性被検者と同様に TA, MPA, HOA の平均

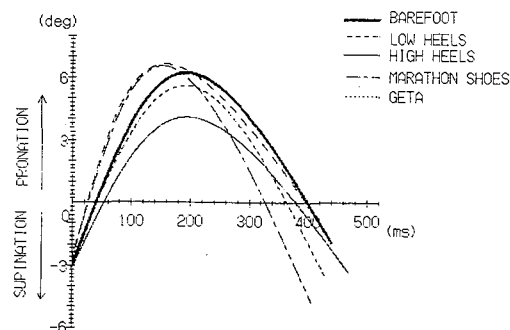


Figure 4. Model curve of rearfoot angular displacement for each footwear for females. (Absolute time)

Table 5. Mean values of measured parameters for each footwear for females

	Footwear					F value
	Barefoot	Lowheels	Highheels	Marathon Shoes	Geta	
Touchdown angle (deg)	-3.2 (5.7)	-2.9 (5.7)	-3.2 (5.6)	-2.7 (5.2)	-2.8 (5.7)	0.034
Maximum pronation angle (deg)	6.2 (2.5)	6.6 (3.0)	4.1 (3.5)	6.5 (2.2)	5.6 (2.7)	3.883*
Heeloff angle (deg)	-1.9 (6.6)	-1.5 (7.3)	-3.3 (7.0)	-4.8 (9.2)	-3.5 (7.9)	0.878
Total rearfoot movement (deg)	9.9 (3.5)	8.8 (3.7)	7.1 (3.9)	9.8 (3.3)	8.3 (5.1)	2.486*
Time to maximum pronation (ms)	188.7 (136.7)	152.1 (112.2)	195.4 (167.5)	161.0 (132.4)	194.3 (168.0)	0.586
Total heel contact time (ms)	440.7 (74.0)	435.1 (70.5)	469.5 (56.9)	407.4 (98.0)	429.6 (98.3)	2.283
Relative time to maximum pronation (%)	42.7 (33.6)	27.1 (21.3)	33.7 (29.9)	32.3 (27.7)	39.8 (34.2)	1.297
Pronation during standing (deg)	5.7 (4.1)	3.7 (6.9)	2.3 (5.3)	5.2 (5.8)	5.6 (5.7)	0.676
Stride length (cm)	51.7 (6.1)	52.6 (5.6)	50.7 (5.8)	53.7 (5.1)	51.6 (4.5)	0.436

Numbers in parentheses are standard deviations

\* Significant differences ( $P < 0.05$ ) were observed between footwear.

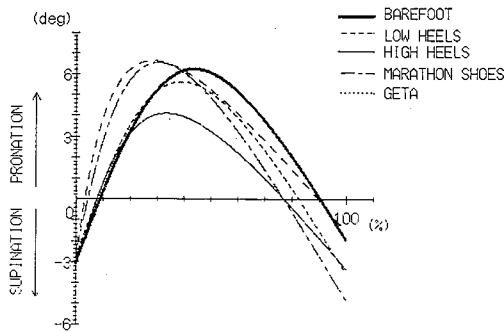


Figure 5. Model curve of rearfoot angular displacement, for each footwear for females. (Relative time)

値の曲線で結んだ模式図を図4及び図5に示す。図より素足に最も近い運動パターンを示した履物は、男性被検者と同様下駄であった。素足と最も異なるパターンを示した履物はハイヒールであった。ハイヒールは本研究で女性被検者が使用した履物の中で、最も不安定な履物であるためと考えられる。また、ローヒールは踵接地前半において、マラソンシューズは全体的に素足と異なる運動パターンを示したが、統計的な差異は見られなかった ( $p > 0.05$ )。

### 3. 男女の比較について

歩行の性差を調べるため、素足歩行について各測定値を比較したが、全ての項目において有意な差は見られなかった ( $p > 0.05$ )。また、男女とも歩行パターンに違いはなかった。

本研究において、それぞれの履物を使用した歩行パターンは以下の通りであった。

#### 1) マラソンシューズ

踵接地から急激に回内し、踵離地時には素足や他の履物より大きく回外した。

#### 2) ジョギングシューズ

踵離地時には、マラソンシューズと同様素足や他の履物より大きく回外した。また、マラソンシューズの歩行パターンとかなり似た値を示した。

#### 3) 革靴

靴の中では素足の歩行パターンと最も近かった。また、重量が重いため、歩行中の振り運動

を助け、素足より有意にSLが長かった ( $p < 0.05$ )。

#### 4) 下駄

全ての履物の中で、素足と最も近い歩行パターンを示した。これは他の履物のように足が拘束されず、履物の上で自由に足が動かされたためと思われる。

#### 5) 厚歯

下駄の歩行パターンと類似したが、素足とはわずかな違いがみられた。これは厚歯が下駄よりも高さが高く、幅が狭いので不安定になると考えられる。

#### 6) ローヒール

踵接地前半において素足よりも急激な回内をした。これはヒールの幅が狭く、踵接地のたびにヒールが内側に倒れるためである。

#### 7) ハイヒール

素足の歩行パターンと大きく異なった。ハイヒールは、足が常に素足より大きく底屈し、またできるだけヒールを地面に垂直に立て、バランスをとろうと被検者に意識させ、回内を制限していたと思われる。

以上が本研究のまとめとできるであろうが、本研究の結果だけから履物についての評価をすることは困難である。つまり、素足の歩行パターンと違ったパターンを示す履物は、矯正装置としての作用があるという見方と、自然な足の動きを妨害した<sup>1)</sup>という見方と両方がある。これは正常な<sup>2)</sup>動きとそうでない動きとの境界線を引くことが難しいためである。しかし、素足歩行を一定の基準として定めたことは、履物が歩行に及ぼす影響を調べる際に有効であったと思われる。

#### 参考文献

- 1) Adrian, M. J. and P. V. Karpovich : Effect of walking in cowboy boots on the knee action. Res. Quart, 35, 3 ; 398-402, 1964.
- 2) 東章弘 : 下駄による歩行の床反力, 日本体育学会第

- 45回大会号(製本中), 1994.
- 3) Clarke, T. E., E. C. Frederick and C. L. Mamill : The effects of shoe design parameters on rear-foot control in running. *Med. Sci. Sports Exerc*, 15, 5 ; 376-381, 1983.
  - 4) Frederick, E. C., E. T. Howley and S. K. Powers : Lower oxygen demands of running in soft-soled shoes. *Res. Quart. Exerc. Sport*, 57, 2 ; 174-177, 1986.
  - 5) Gollinick, P. D., C. M. Tipton and P. V. Karpovich : Electrogoniometric study of walking on high heels. *Res Quar*, 35, 3 ; 370-378, 1964.
  - 6) Hamill, J., P. S. Freedson, W. Boda and F. Reichsman : Effects of shoe type on cardiorespiratory responses and rear-foot motion during treadmill running. *Med. Sci. Sports Exerc*, 20, 5 : 515-521, 1988.
  - 7) ハリー F. ラバック：ザ・フット・ブック. ブックハウス・エイチディ；1982.
  - 8) 石毛フミ子：ハイヒールの体力医学的研究I. ステップテストに現れたヒール高の影響. *体力科学*, 10, 1 ; 49-55, 1961.
  - 9) 石毛フミ子：ハイヒールの体力医学的研究II. 歩行時のエネルギー代謝に現れたハイヒールの影響. *体力科学*, 10, 1 ; 56-61, 1961.
  - 10) Jones, B. H., M. T. Michael, L. D. William and J. K. Joseph : The energy cost and heart-rate response of trained and un-trained subjects walking and running in shoes and boots, *Ergonomics*, 27, 8 ; 895-902, 1984.
  - 11) Merrifield, H. H. : Female gait patterns in shoes with different heel heights. *Ergonomics*, 14, 3 ; 411-417, 1971.
  - 12) Nigg, B. M. and M. Morlock : The influence of lateral heel flane of running shoes on pronation and impact forces. *Med. Sci. Sports Exerc*, 19, 3 ; 294-302. 1987.
  - 13) Reinschmidt, C., A. Stacoff and E. Stussi : Heel movement within a court shoe. *Med. Sci. Sports Exerc*, 24, 12 ; 1390-1395, 1992.
  - 14) Ricci, B. and P. V. Karpovich : Effect of height of the heel upon the foot. *Res. Quart*, 35, 3 ; 385-388, 1964.
  - 15) Robbins, S. E. and A. M. Hanna : Running related injury prevention through barefoot adaptations. *Med. Sci. Sports Exerc*, 19, 2 ; 148-156, 1987.
  - 16) 佐野裕司：歩行とはきもの一特にハイヒール歩行について一. *体育の科学*, 29, 1 ; 35-39, 1979.
  - 17) Soames, R. W. and A. A. Evans : Female gait patterns : the influence of footwear. *Ergonomics*, 30, 6 ; 893-900, 1987.
  - 18) Stacoff, A., C. Reinschmidt and E. Stussi : The movement of the heel within a running shoe. *Med. Sci. Sports Exerc*, 24, 6 ; 695-701, 1992.