

靴の形状が姿勢・歩容・関節負荷に及ぼす 動態力学的影響

文化学園大学 永井伸夫
(共同研究者) 同 有泉知英子
同 田村照子

Effects of Kinetic Dynamics by Shoes on Posture, Gait and Joint Moments in Human Body

by

Nobuo Nagai,
Chieko Ariizumi, Teruko Tamura
Department of Functional Design
Bunka Gakuen University

ABSTRACT

In recent years, the number of women who wear high-heeled shoes even while commuting to work is increasing. Because they tend to wear shoes that are fashionable rather than practical, many complain of ailments affecting their feet, knees and back. In this study, we analyzed the effects of four common types of shoe—specifically, sneakers, pumps (heel height: 3 cm), shoes for the elderly and toning shoes—to determine how their shape and the presence of a heel affect joint moment and the angle of joints of the lower limbs in one gait cycle, and to investigate the kinetic dynamic effects that shoes have on the human body. We examined eight healthy young females based on three-dimensional motion analysis and floor reaction force, and calculated joint moment using interactive musculoskeletal modeling software. An examination of joint moment in one gait cycle showed that hip joint moment increased at the time

of heel contact, especially when the subject wore pumps. In addition, the peak values of hip and talocrural joint moment increased in the propulsive period, with the highest peak value seen in shoes for the elderly. It was therefore thought that shoes for the elderly soften impact in the contact period and aid propulsion even when worn by young people. We expect that the result of this study will contribute to the design of highly safe and functional shoes and safer methods for wearing shoes.

要 旨

近年、多くの女性が社会進出することに伴い、毎日の通勤でもハイヒールを履用する女性が多くなり、ファッション性偏重の靴を履くことにより、足、膝、腰の疾患の原因となることも多いといわれている。本研究では、身近な履物として、スニーカー、パンプス（ヒール高：3cm）、高齢者用シューズ、トニングシューズの4種について、その形状やヒールの有無が、下肢の関節に及ぼす負荷量や、関節角度について分析し、靴の形状が身体に及ぼす影響を動態力学的に検討した。健康な若年女性8名を対象として、三次元動作解析装置、床反力計、筋骨格モデリングソフトウェアに動作データを移行することにより、関節モーメントを計算した。歩行一周期における関節モーメントの変化をみると、踵部接地時に股関節の関節モーメントが増大し、特にパンプス履用時に高値を示した。また、蹴り出し時（推進期）に股関節、距腿関節の関節モーメントピーク値が増大し、高齢者用シューズで最も高かった。高齢者用シューズは、若年者が履いた場合でも接地時の衝撃を緩和し、前方への推進力を促すものと思われた。本研究の成果が、安全性・機能性の高い靴の設計や、安全な靴の履用方法の向上に貢献することを期待する。

緒 言

アパレルは人間が着用する下着からアウター、

寝衣からスポーツウェアにいたる全衣料品を含み、それらの素材・デザインに関する研究は、社会環境の中で国民が健康で快適な生活を営むための基盤となるものである。特に履物の特性は健康の基本である歩行の質を左右し、近年、トニングシューズのように、歩くことにより脚部や腹部などの筋活動を活性化して、歩くだけでトレーニング効果のある靴や、高齢者の歩行に適し、転倒予防の機能を持つ靴の開発など多面的な研究が進められている。また、近年多くの女性が社会進出することに伴い、毎日の通勤でもハイヒールを履用する女性が多くなり、視覚的な効果やデザインをはじめとするファッション性偏重の靴を選ぶ傾向がみられる。そのため、足の疾病や膝や腰の不具合の原因となったり、歩行時の脚部の筋への負担が大きく、転倒の危険性も高いといわれている。

履き物の歩行動作への影響を動態力学的に研究した報告は少なく、ハイヒール履用時の階段降段動作における運動力学的影響について、ハイヒール熟練者と非熟練者との比較を行った報告¹⁾、下肢関節モーメントと歩行速度との関連性などについての報告²⁾がされている。Snowらは、3種のヒール高（1.91, 3.81, 7.62 cm）のハイヒール靴を用いて、三次元動作解析と床反力の計測を行い、歩行周期の接地期と蹴り出し時（推進期）において、ヒール高が大きいほど垂直方向の反力が増大することを示した³⁾。また、著者らは三次元動作解析と筋骨格モデリングソフトウェア

アを用いて、3種のヒール高(3.0, 6.0, 10.0 cm)のハイヒールを履用した際の脚部関節モーメントを算定し、ヒールが高いほど接地時の負荷が大きく、蹴り出しにくいことを明らかにした⁴⁾。

本研究では、身近に履用されている履物として、スポーツ用スニーカー、パンプス(ヒール高: 3 cm)、高齢者用シューズ(快步主義, アサヒコーポレーション)、トーンニングシューズ(イーゼートーン, リーボック)などを取り上げ、その形状やヒール高の相異が脚部の関節に及ぼす影響を動態力学的に検討した。本研究の研究対象は女性靴であるが、今後はその成果を踏まえ、高齢者の歩行に適した靴や、スポーツシューズにも焦点を当て、安全を保持しながら、競技上の記録更新に貢献する高機能靴設計のための基礎的研究とすることを目的とする。

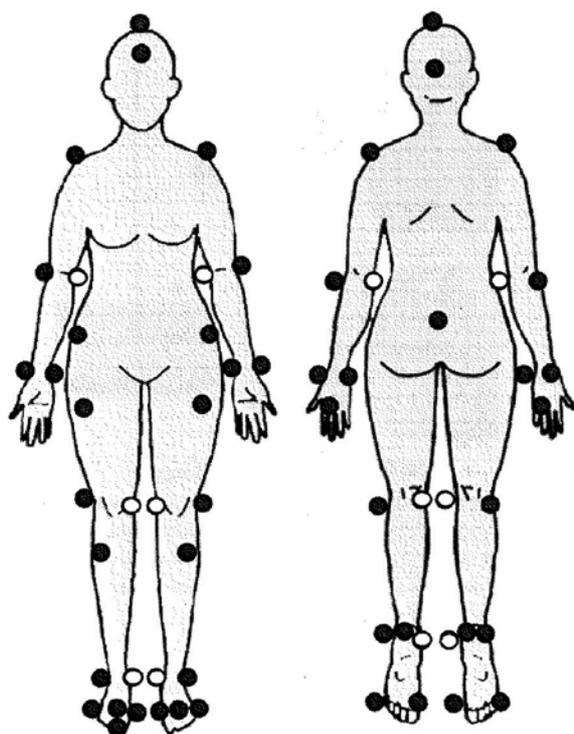


図1 Position of infrared reflective markers

The infrared reflective markers put 39 points (colored and open circles) of the human body in the measurement by standing straight. In the measurement of a walking, six points (open circles) of markers was taken off, and we measured with 33 points (colored circles).

1. 試料及び実験方法

1.1 被験者について

被験者は21歳～24歳(22.6±1.1歳, 平均年齢±標準偏差)の健常な女性8名で、身長:160.7±8.7cm, 体重:52.5±7.9kg, BMI:21.0±3.2であった。被験者には、事前に本研究の趣旨・測定方法を説明し同意を得られた後に測定を行った。

1.2 三次元動作解析方法

実験方法としては、三次元動作解析システムを用いて歩行動作を測定したのち、筋骨格モデリングウェアに動作データを移行して、各関節モーメントを計算し、靴の種類や形状が下肢関節に及ぼす影響を負荷量関節角度によって検討した。4種類の靴を履いた被験者が歩行中の運動学的・動態力学的データを測定するために赤外線カメラ、三次元動作解析装置(EVaRT5.0, MOTION ANALYSIS社)およびKine Analyzer(KISSEI COMTEC CO., LTD)と床反力計(AMTI, AMTI社), 筋骨格モデリングソフトウェア(SIMM6.0, MOTION ANALYSIS社)を使用した。

各被験者の身体の39箇所に赤外線反射マーカー(直径20mmの球状)を貼付し(図1), 8台の赤外線カメラを用いることで、計測時に移動するマーカーを三次元的に捉え座標化し身体運動を解析することができる。赤外線反射マーカーは、直立静止時には39点, 動作(歩行)時には6点のマーカーをはずして, 33点にて撮影した。撮影したデータを三次元動作解析装置(EVaRT)で編集し, データの補完や交換を行い波形が自然に繋がるようにした。次に, データを筋骨格モデリングソフトウェア(SIMM)に移行させ, 関節負荷量(トルク)計算を行った。トルクとは, r (ベクトル) \times F (重量)で表され, 今回は股関節・膝関節・足首への負荷量として評価した。

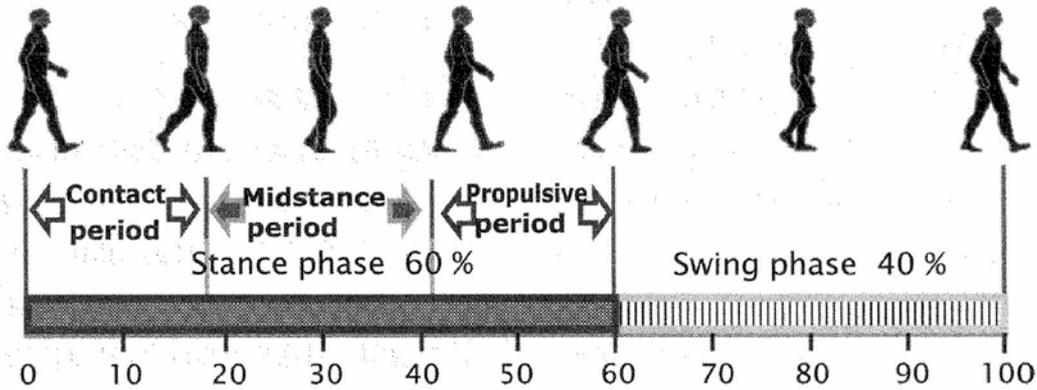


図2 One Gait Cycle (%)
We showed a stance phase and swing phase

動態力学的データの測定には、床反力計を使用した。床反力計は、身体運動中に床反力計に加わる力の反力とその作用点が計測できる。すなわち、三方向の床反力（前後・左右・鉛直）とその根元となる床反力作用線を計測することができる。測定室には床反力計4枚が床面に設置され、また8台の赤外線カメラが設置されている。なお、本研究における歩行の解析は右脚における歩行一周分とした（図2）。

1.3 実験試料

本研究に用いた靴は、スポーツ用スニーカー、パンプス（ヒール高:3 cm）、高齢者用シューズ（快步主義, アサヒコーポレーション）、トナーシューズ（イーリートーン, リーボック）の4種とした（図3）。

2. 結果および考察

2.1 下肢の3関節における関節モーメント

下肢の3関節（股関節:hip joint, 膝関節:knee joint, 距腿関節:ankle joint）における、歩行時右脚1周期の関節モーメントについて被験者8例の平均値を示した（図4）。本研究では、4種の靴の歩容への影響を検討した。用いた靴は、日常のジョギングやスポーツに用いるスニーカー、社会人が一般に履くと考えられるヒール高3cm

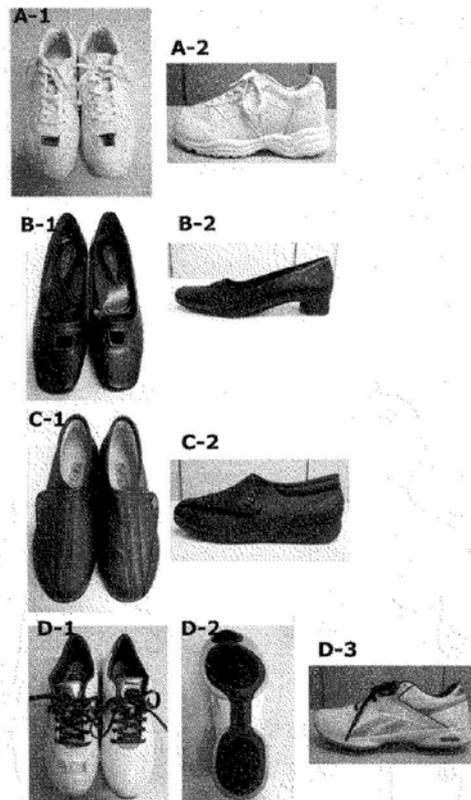


図3 Experimental Shoes

A-1: Sneakers (a ground plan), A-2: Sneakers (a side view),
B-1: Pumps (a ground plan), B-2: Pumps (a side view),
C-1: Shoes for elderly (a ground plan), C-2: Shoes for elderly (a side view),
D-1: Toning shoes (a ground plan), D-2: Sole of toning shoes,
D-3: Toning shoes (a side view)

のパンプス、高齢者の歩行用に設計された靴、また近年、履いて歩くだけで臀部、脚部の筋力を増強し、トレーニング効果があると言われていたトナーシューズについて検討した。高齢者用に開発された靴は、つま先部を20mm、踵部を12mm上げることにより高齢者の事故の原

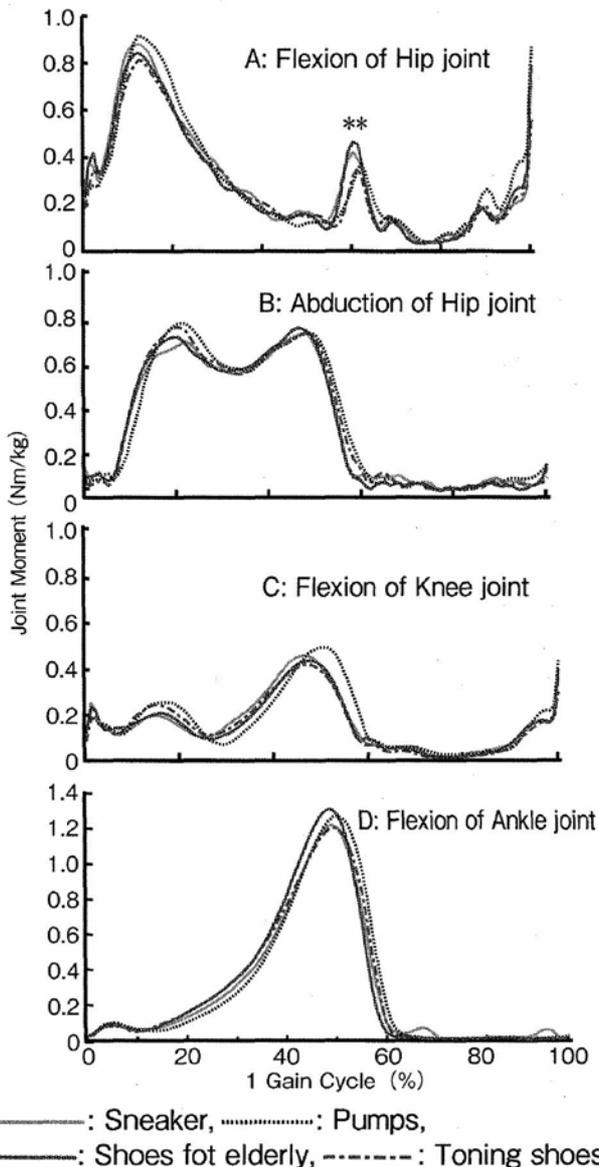


図4 Joint moments of right leg's three joints in one gait cycle
 n=8, mean, **: p<0.01 (one way ANOVA)

因となっている転倒を予防し、ソールの外側を2mm高くすることで内側への傾斜をつくり、足の動きをコントロールする設計や、第1趾の付け根の部分に1mmのくぼみを設置し、安定性や衝撃吸収力をサポートしている。トーニングシューズについては、つま先部と踵部のソールが丸みをもった形状をしているものを用いた。

右脚踵部接地時における脚部関節への負荷について、図4のAからDを時系列でみると、接地時における股関節への負荷は他の関節と比較して最も大きく、靴の種類については負荷量の大きい順に、パンプス、スニーカー、高齢者用

シューズ、トーニングシューズであった(図4, A, B)。蹴り出し時においては、股関節を屈曲する際のモーメントが高齢者用シューズで最も大きく、次いでスニーカーで有意差が認められた(p<0.01)。高齢者用シューズは、安定性や衝撃吸収力をサポートする設計であるため、若年者が履いた場合でも接地時の衝撃を緩和し、前方への推進力を促すものと思われた。

膝関節と距腿関節における関節モーメントは、歩行周期前半の接地時に脚部にかかる負荷を徐々に軽減し蹴り出し時にモーメントピーク値として表れている(図4, C, D)。靴の種類による関節モーメントピーク値の有意な差は認められなかったが、高齢者用シューズで距腿関節における関節モーメントピーク値は高値を示していた。また、ヒール高3cmのパンプスでは膝関節、距腿関節のモーメントピーク値が若干後半にシフトしていたが、これは3cmのヒールによるストライド長の増加によるものと考えられた。

2.2 下肢の3関節における関節角度

靴が歩容に及ぼす影響をみるため、下肢関節角度の変化について検討した(図5)。股関節内角の角度は靴の種類により大きな差異は認められなかった。蹴り出し時の最も負荷がかかる時点でも、150°以下になることは無く、このことから歩行時の姿勢も前傾することなく、比較的美しい歩容が保たれていたことが推察された(図5, A)。膝関節内角においては、遊脚期においてパンプス履用時に最も低値を示し(p<0.05)、他の靴と比較して若干膝が曲がっていたことが示唆された(図5, B)。距腿関節では、接地時に他の靴と比較して約10°の外角の開きが認められたが(p<0.01)、これは3cmのヒールによるものと考えられた(図5, C)。

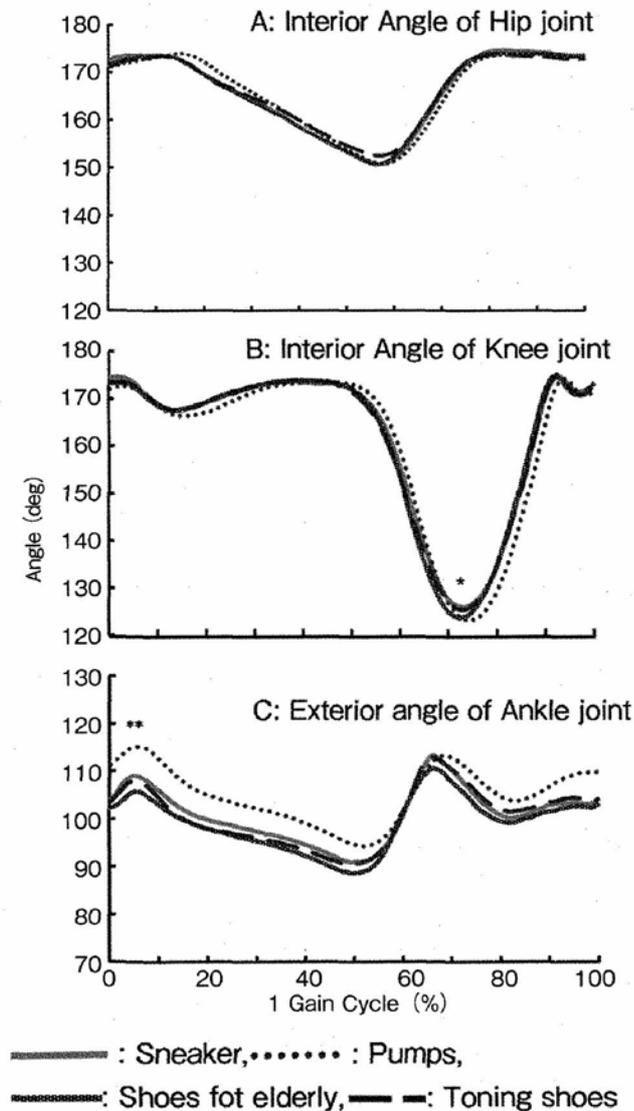


図5 Angle of right leg's three joints in one gait cycle
n=8, mean, *: p<0.05, **: p<0.01 (one way ANOVA)

3. 結 語

三次元動作解析システムと筋骨格モデリングウェアを用いることにより、各関節モーメントを計算し、靴の種類や形状が下肢関節に及ぼす負荷量や関節角度について検討した。用いた靴は、スポーツ用スニーカー、パンプス（ヒール高:3 cm）、高齢者用シューズ、トーニングシューズの4種とした。歩行一周期における関節モーメントの変化をみると、踵部接地時に股関節の関節モーメントが増大し、特にパンプス履用時に高値を示した。また、蹴り出し時に股関節、距腿関節の関節モーメントピーク値が増大し、高齢者用

シューズで最も高かった。高齢者用シューズは、若年者が履いた場合でも接地時の衝撃を緩和し、前方への推進力を促すものと考えられる。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、研究助成を賜りました公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に厚く御礼申し上げます。また被験者としてご協力いただきました皆様、実験にご協力いただきました青木識子様に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 武藤友和, 板倉直明, 水戸和幸: ハイヒール使用時における階段降段動作の運動学的・運動力学的影響 - 熟練者と非熟練者を比較して -, 社団法人電子通信学会, *Information and Communication Engineers*, 5, 25-28 (2010)
- 2) 金承革, 福井勉, 関野昇, 高橋正明, 玉利光太郎, 大成幹彦: 下肢関節モーメントの歩行速度への寄与 - 速い速度での歩行に寄与する筋群の調査 -, *バイオメカニズム学会誌*, 25 (1) 29-35 (2001)
- 3) Rebecca E. Snow and Keith R. Williams: High Heeled Shoes: Their Effect in Center of Mass Position, Posture, Three-Dimensional Kinetics, Rearfoot Motion, and Ground Reaction Forces, *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, 75, 568-576 (1994)
- 4) 川上智恵, 有泉知英子, 永井伸夫, 田村照子: ヒール靴が歩行に及ぼす動態力学的影響, 2012年日本家政学会第64回大会要旨集, 127 (2012)