

令和元年9月3日現在

機関番号：32657

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K12702

研究課題名(和文) 指行性歩行を規範とした弾性ヒールを有したハイヒールの歩行解析と設計理論の提案

研究課題名(英文) Gait analysis and design theory of high heel with elastic heel based on fingering gait

研究代表者

山田 泰之(YAMADA, Yasuyuki)

東京電機大学・システムデザイン工学部・助教

研究者番号：10770844

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)：本研究ではハイヒールにおける関節や筋への負担や疲労、姿勢悪化を軽減する歩容動作誘導・衝撃吸収機能を有した高機能ハイヒールの設計について検討した。各種検討の結果、ハイヒールの関節角度を制限した特徴的歩容のため、通常靴で用いる空気クッションやスポンジによる衝撃吸収対策は効果が低いと結論づけた。弾性ヒールと通常ヒールで被験者比較試験を実施したところ、床反力、動作計測、各種筋電位から、通常ヒール歩行に比べて弾性ヒールでは、歩容全体として荷重変化がなめらかになることが確認された。さらに、踵の弾性変形の瞬間中心の位置や揺動半径の調整により歩行時の腓腹筋の筋電位が低下する傾向を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでヒール部を積極的に弾性変形させた場合の効果検証は十分になされていないため、本成果は人間工学、運動力学の見地からも学術的に意義のある試みである。また、世界中で長年女性が日常的に接しているハイヒールの問題を技術的に解決する点は、社会背景や文化が変わらなくとも、テクノロジーにより各種問題の解決の代替や後押しが可能であること示す社会的な意義があると考えられる。

研究成果の概要(英文)：In this study, we examined the design of high-performance highheel with gait guidance and shock absorption functions in order to reduce fatigue and fatigue of joints and muscles. As a result of various examinations, it was concluded that the impact absorption measures by air cushions and sponges used in normal shoes are less effective because of the characteristic gait that limited the joint angle of high heels. A subject comparison test was conducted on the elastic heel and the normal heel. From the floor reaction force, motion measurement, and various myoelectric potentials, it was confirmed that the load change as the entire gait becomes smoother in the elastic heel compared to the normal heel walking. The Furthermore, it was confirmed that the muscle potential of the gastrocnemius muscle decreased during walking by adjusting the position of the moment center of elastic deformation of the heel and the rocking radius.

研究分野：デザインエンジニアリング

キーワード：デザインエンジニアリング ハイヒール サスペンション 歩行

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

ハイヒールはパーティなどでの一時利用を前提に立ち姿と足取りの美しさを優先したデザインで、快適な歩行を提供する配慮はない。健康被害等の回避には履かないことが有効な方策の一つではあるが、TPOや社則などの社会的な制約や、キャリアウーマン、洋服店のスタッフのような接客業等の一部の職業での慣習による着用がある。さらに、現代女性自身はそのスタイルに対してファッション性を見出している側面もあり、ハイヒールを日常的な移動に利用しており、着用を避けることは難しい現状にある。一方で、ハイヒール着用時は踵を持ち上げているため、足首を利用できない無理な関節運動が身体負荷となる。さらに、靴自体にクッション性が無く、踵から爪先への連続的着地ができないことと合間って、着地時の衝撃が直接身体に伝わる。そのため、ハイヒールは以下のような大きな問題がある。・半強制的に履くハイヒールによる健康被害、歩行の不安定性による仕事等の活動の能率の低下。・接地時の強い衝撃で、膝や腰などの関節痛が発生する。・長期的利用により猫背やO脚等の筋骨格への悪影響を及ぼす。

2. 研究の目的

本研究ではハイヒールにおける関節や筋への負担や疲労、姿勢悪化を軽減する歩容動作誘導・衝撃吸収機能を有した高機能ハイヒールの設計理論を構築する。ヒール靴はTPOや社則などの制約等で着用する機会があるため、単なる健康被害にとどまらず、女性の社会進出を抑制する要因とも考えられる。そのため、これら社会的風習にとらわれず、自身で快適な歩行を選択できる靴の提供するため、弾性ヒールにより積極的に歩行の疲労低減を実現する設計理論の検討を目的とした。

3. 研究の方法

本研究ではハイヒールにおける関節や筋への負担や疲労、姿勢悪化を軽減する歩容動作誘導・衝撃吸収機能を有した高機能ハイヒールの設計理論を構築することを目指した。

研究については、大きく分けて3つの項目を行った。1) 弾性を有する靴についての検討：

ハイヒール、運動靴、およびバネを備えた各種スニーカーの機能的な差を、その構造、歩き心地を比較した。2) ハイヒールへの弾性を有した踵部の有効性確認検証：通常のハイヒールと踵に弾性を有するヒール用いた場合を比較した。身体特徴点の動きや、各種筋電位、床反力にどのような差が生まれるかを探索した。3) 歩行補助に用いる弾性体の動的効果の検証：歩行補助に用いる弾性体のばね要素が生み出す動きの瞬間中心と歩容および疲労等についての関係について検討した。

4. 研究成果

・研究成果概要

1) の検討の結果、ハイヒールの特殊な歩容、すなわち関節角度の自由度を制限している特徴のため、他の靴で用いられている空気クッションや分厚いスポンジによる衝撃吸収対策では、ほとんど効果に差がでないと結論づけた。2) については、踵に弾性ばねを用いたヒールと通常のヒールで被験者試験で比較した。床反力、動作計測、各種筋電位の結果から、通常のヒール歩行時で発生する接地から立脚に至る荷重変化に発生するスパイクが、弾性ヒールでは減少し、歩容全体として荷重変化がなめらかになることが確認した。3) については、踵の弾性変形の瞬間中心を変更可能とした弾性ヒールを有する試験靴を作成し、その効果を検討した。踵の弾性変形の方向を揺動リンクで適宜案内する方法で調整した。踵の揺動する半径と、瞬間中心の2つの条件を変更し、歩行時の腓腹筋の筋電位を比較した。実験の結果、瞬間中心の位置や揺動半径の調整により歩行時の筋電位が低下する傾向を確認した。以上の結果から、弾性ヒールおよび、瞬間中心の適宜設定により、疲労軽減効果を得ることが期待できる。

2)

・研究成果詳細

サスペンションには、図1(a)のバイクのフロントフォークのようにピストン形状のみで直動する形式と、図1(b)のような、バイクのスイングアームや自動車のストラット式サスペンションのように揺動する形式がある。サスペンションが効率よく機能するには、荷重方向とサスペンションの変位方向の関係性も重要である。一般的には、荷重方向と変位方向をなるべく一致させる。既に、直動式サスペンションをハイヒールに採用した例は散見されるが、実用化された例は見当たらない。直動式の場合、図2に示すように、接地時の体重による荷重方向がほぼ下腿軸と一致すると仮定すると、サスペンションの変位方向であるヒールの軸方向とは、一致しない。加えて、この荷重ベクトルとヒール軸のなす角度は、接地から離地にかけて変化するため、ヒール軸方向のサスペンション構造では、歩行中の衝撃を吸収する際の効率が悪くなることが推測される。

そこで、筆者らは、図1(b)のように、回転中心を持った揺動運動形式のサスペンションが望ま

しいと考えた。概念図としては、図3のような構成である。このように、踵に揺動するサスペンション機構を設けることで、図4のように、ハイヒール歩行の特徴である足関節の底屈が不十分な状態で接地した場合でも、サスペンション機構が沈み込むことで、衝撃を吸収しつつ、爪先が地面に接地するため、爪先への体重移動を促進する効果を期待できる。

また、このサスペンション機構を設けた場合、図5のように、サスペンション機構の回転中心を設ける位置で、足の動きが変化することが予想される。図5(a)のリンクの回転中心の位置では、接地時の足関節への荷重方向と、接地時のサスペンションの変位方向が一致するが、図5(b)や(c)では、下腿軸方向と接地時のサスペンションの揺動方向が異なる。ユーザの歩き方や、坂の傾斜など様々な要因で、接地から立脚期での足関節の変化が異なるため、図5の回転中心もそれに依存して適したものと予想されるが、フィージビリティスタディとして、図5(a)の足首方向と平行に動く踵を目指す。踵の揺動運動の瞬間中心位置とハイヒール歩行の関係については、今後の課題である。

上記の検討を元に、新しいヒール部形状の様々な検討した。コイルスプリングや空気入タイヤにヒントを得たクッション構造は、高い衝撃吸収性軽量化が期待できるが、ハイヒールのもつデザイン性への影響が大きいと考えて採用をとりやめた。衝撃吸収性、製作性、意匠性を考慮して、図6のように、板バネを曲げた形状を採用することとした。この形状は、揺動形式のサスペンション構造の機能を模擬し、意匠面においては、従来のリジッドなヒール部よりも、より軽快で軽やかなファッショナブルなラインを生み出すことも可能であると考えている。

図6のサスペンションを有したハイヒールの効果を検証するため、成人女性1名(身長161cm)を被験者に、同等のヒール高さ(75mm)を有したハイヒールとサスペンション付きハイヒールで歩行計測をした。計測項目は、関節角度(足関節、膝関節、股関節)、床反力と筋電位(腓腹筋、前脛骨筋)とした。

図7のように、歩き始めから4歩目の左足の踵接地から7歩目の右足の踵接地までが計測できるように、フォースプレート(TF-4060:テック技販)と歩行路を敷き、モーションキャプチャシステム(MAC3D System: Motion Analysis)で計測し、サンプリング周波数は100Hzとした。なお、床反力計と筋電位計(EMG-021/025:原田電子工業)は、モーションキャプチャシステムに接続し、サンプリング周波数は1000Hzとした。

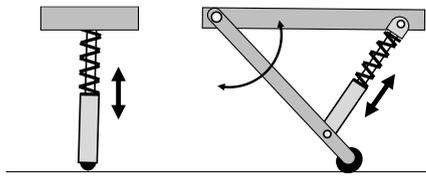
試行回数は5回とした。なお、各靴での実験開始前に、被験者に5分間程度歩行をさせ、靴に十分に慣れてから計測を開始した。

取得したデータは、5歩目の右足の踵接地から次の右足の踵接地までを1周期(100%)とし、時間軸を基準化した。なお、踵接地の判定は、合成床反力の大きさが5N以上になったときとした。関節角度は、モーションキャプチャシステム(MAC3D System: Motion Analysis)を用い、全身に張り付けた20点の標点位置より筋骨格シミュレーションソフト(N-motion Musculous: NAC)を用い算出した。筋電位は、ローパスフィルタ(双方向2次のバターワース、遮断周波数5Hz)をかけた後、全波整流化し、ローパスフィルタ(双方向2次のバターワース、遮断周波数5.3Hz)をかけた。

計測の結果、関節角度および筋電位は、大きな差が見られなかった。理由としては、歩行路面が平面かつ摩擦が高く安定している点、および被験者がハイヒール歩行に習熟している点などが考えられる。

一方で、図8のように、床反力の垂直成分では、サスペンション付きハイヒールを着用した場合(点線)は、踵接地時の衝撃を示す、接地初期の荷重のスパイク的な立ち上がりが無くなった。さらに、接地から立脚期にかけての荷重移動がより滑らかになっている。これより、揺動サスペンションを備えたハイヒールが、衝撃を吸収し、図4のように踵接地から爪先へ体重移動して立脚期に至る荷重移動をより滑らかにする可能性があることを確認した。

今回は、被験者が1名と少なかつたため、今後は、被験者数を増やし、更なる効果の検証を行う必要がある。



(a) 直動 (b) 揺動

図1 サスペンション構造の例

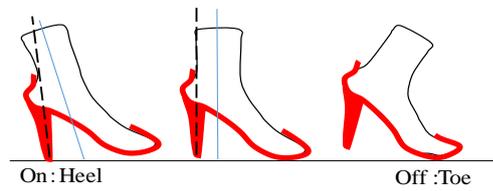


図2 接地時の様子

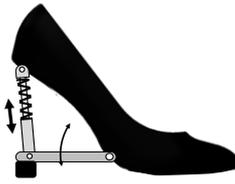


図3 揺動サスペンションを備えたハイヒールイメージ

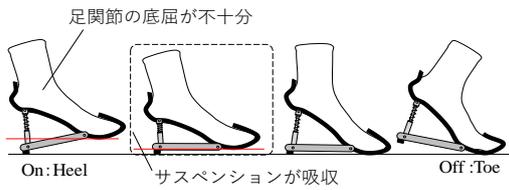
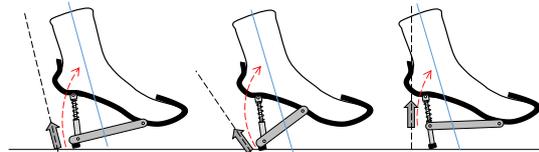


図4 揺動サスペンションの効果予想



(a) (b) (c)

図5 回転中心とヒール先端の動き



図6 板バネ式サスペンション

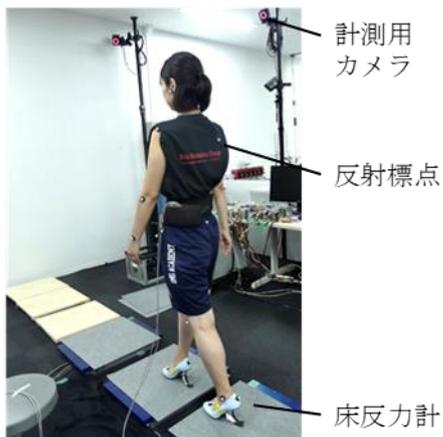


図7 計測風景

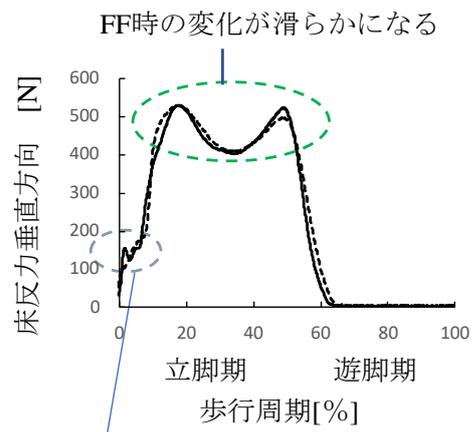


図8 床反力(垂直方向)の結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

山田泰之, 西濱里英, 中村太郎, “ファッション性と快適性の両立を目指したハイヒールの検討”, 日本靴医学会機関誌, 「靴の医学」32 巻 2 号, (2019 年 3 月)

〔学会発表〕(計 1 件)

西濱里英, 山田泰之, 中村太郎, サスペンション付きハイヒールの提案, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2019, 2P2-H01, (2019 年 6 月)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号 (8 桁)：

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。