

国際医療福祉大学審査学位論文（博士）

大学院医療福祉学研究科博士課程

高位ヒール捻挫の実態と
高位ヒール歩行の運動力学的分析

平成 30 年度

保健医療学専攻・理学療法学分野・応用理学療法学領域

氏名：入野隆仁

高位ヒール捻挫の実態と高位ヒール歩行の運動力学的分析

入野 隆仁

要旨

〔目的〕

高位ヒールによる怪我の予防を広く推進するために、その歩行の特徴を明らかにし、改善の糸口を探る事である。

〔対象と方法〕 研究 1 高位ヒール転倒経験者の特性把握では健常成人女性 154 名を対象とし、アンケート調査を行った。研究 2 高位ヒール歩行の計測では健常成人女性 14 名を対象とした。3 次元動作解析装置を用いて、平地と内外側 6 度の斜度地での高位ヒール歩行と一般に販売されている高位ヒールと、改造ヒール（ヒール位置を 3 mm づつ内外側へ移動）を測定し検証を行なった。〔結果〕 アンケートでは、転倒方向と靴のすり減り方向で有意差が認められた。平地と斜度のある路面での歩行は、X 軸で各傾斜の床反力と膝角度、Y 軸で各傾斜の足関節モーメントと、膝関節モーメントに有意差が認められた。ヒール位置を変更有無での歩行は、有意差は認められなかった。〔結論〕 アンケートの結果から、転倒と斜面には関係があり、6 度斜面での高位ヒール歩行では、平地では見られない身体的反応が見られた。これに対しヒール位置の 3 mm の変更では身体的な反応に差はなかった。

キーワード：高位ヒール歩行，転倒，3 次元動作解析装置，改造ヒール，ヒール位置，路面，斜度

The Actual Conditions of Sprains Caused by Wearing High Heels
&
Kinematic Analysis of Walking in High Heels

Takahito Irino

Abstract

[Purpose] The Purpose of This study is to try to gain an insight on the distinctive walking patterns of people wearing high heels as well as examine and improve walking conditions to widely promote the prevention of injuries from wearing high heel shoes.

[Research Target and Method] Research 1: The research targeted and held a survey for 96 healthy adult women to gather characteristics of those who have fallen while wearing high heel shoes. Research 2: The research targeted 14 healthy adult women to study walking in high heel shoes. A 3D movement analyzer was used to measure and test regular and modified (heels were attached 3 mm closer to the inner side) high heel shoes on flat and sloped (6-degree slope on either side) surfaces.

[Result] There was a relationship between the direction of fall and the pattern of shoe wear out. There was no significant difference in walking with the change of location of the heels. However, there was a significant difference on X-axis in the center of mass and the degree of bend in the knee and on Y-axis in the ankle and knee joint moments when walking on flat and sloped surfaces. [Conclusion] There is a correlation between falls and walking on slopes. The body responded in a different way when walking in high heels on a 6-degree slope versus when walking on a flat surface. On the other hand, the body responses did not show significant changes when the location of the heel changed 3 mm.

Keywords: walking in high heel shoes, falling, 3D movement analyzer, modified heels, heel placement, slope, inclination

第I章 序章

1. 諸言・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・1
2. 高位ヒールと捻挫・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・2
3. 高位ヒールの特性と先行研究・・・・・・・・・・・・・・6
4. 本研究の意義・目的・新規性・・・・・・・・・・・・・・11
5. 倫理上の配慮・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・14

第II章 アンケートを用いた高位ヒール転倒経験者の特性調査・・・・・・・・15

1. 目的・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・16
2. 対象と方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・18
3. 結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・19
 - 1) 転倒つまずき状況・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・19
 - 2) 転倒経験と属性の関係・・・・・・・・・・・・・・・・・・19
 - 3) 靴底が減る場所(右・左)と高位ヒール使用時の転倒方向の関係・・・・・・・・20
 - 4) 靴底が減る場所(外側・内側)と高位ヒール使用時の転倒方向の関係・・・・20
4. 考察・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・21

第III章 路面斜度がある場合の高位ヒール歩行の比較検証・・・・・・・・23

1. 目的・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・24
2. 対象と方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・25
3. 結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・29
 - 1) 靴底・路面等の接地面の斜度と高位ヒールとの関連の研究・・・・・・・・29
 - 2) X右下肢床反力について・・・・・・・・・・・・・・・・・・29
 - 3) X右膝関節角度について・・・・・・・・・・・・・・・・・・30
 - 4) Y右膝関節モーメントについて・・・・・・・・・・・・・・30
 - 5) Y右足関節モーメントについて・・・・・・・・・・・・・・31
4. 考察・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・32
 - 1) X右下肢床反力について・・・・・・・・・・・・・・・・・・32
 - 2) X右膝関節角度について・・・・・・・・・・・・・・・・・・34
 - 3) Y右膝関節モーメントについて・・・・・・・・・・・・・・35
 - 4) Y右足関節モーメントについて・・・・・・・・・・・・・・36

第IV章 ヒール位置を変更有無の場合のハイヒール歩行の比較検証・・・・・・・・38

1. 目的・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・39
2. 対象と方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・40
3. 結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・41
4. 考察・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・42

第V章 総括・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・44

謝辞	47
引用文献	48
資料アンケート	51

第1章

1. 緒言

本研究は婦人靴に多い高位ヒールによる捻挫の防止に関する基礎研究であり、この研究結果は捻挫の防止策を検討する一助となっている。

高位ヒール歩行中の転倒のつまずきは、重篤な疾患に結びつくことが各種調査・先行研究より解明されてきている。しかし、転倒状況について詳細に述べられたものは少なく、その要因ともなる斜面を利用した高位ヒールの研究はない。また、運動学的分析では、矢状面上での先行研究は多くみられるも、前額面上での研究は少ない。そのため、本研究では、先行研究で不明な点をアンケート調査と、3次元動作解析で明らかにした。ここから斜面での転倒が多く、靴底のすり減りの場所と、転倒しやすい方向に関係がある事が統計学的にも判明した。7 cmピンヒールによる平地と、6度の斜面での歩行の身体における運動力学的な差は、X軸方向については床反力、膝関節角度で有意に認められ、Y軸方向については膝関節、足関節のモーメントに有意に認められた。また、右傾斜は内反捻挫、左傾斜は外反捻挫を起こしやすく、危険であることが明らかになった。

上記から転倒による捻挫を防ぐには、斜面歩行は転倒につながる危険があると、注意喚起する事が重要と判明したが、靴における対策として①足部の固定性を高めること、②ヒールの位置変更で、重心位置も変更する事も必要と考えられる。①は専用バンド等、市販品が認知される程であるが、②ヒール位置変更は、幅広のチャンキーヒールによる先行研究のみであり、その効果はほとんど明らかになっていない。そこで次に、重心変化の身体的な影響を見るためヒールの位置を内外側へ3mmずつ移動し、この変更の有無で平地歩行を比較した。しかし、ここでは統計学的にも差はなかった。

靴における対策をより検証するためには、本研究に続けて、理想的に位置変更されたヒールでの平地歩行、斜面歩行を比較し、最終的には、上記のヒールで無意識下でも、安全に歩けるかを検証する必要があると考える。

以下、上記内容について詳細に述べる事とする。

2. 高位ヒールと捻挫

靴の発祥は、紀元前 1600 年。一般市民が靴を履くようになったのは紀元前 200 年¹⁾。ヒールの出現は 16 世紀末で、その要因は諸説がある。その後、ヒールの種類は様々な形に、発展していった。(図 1)



図 1 高位ヒールのヒール形状

左から、先の細いピンヒールが完成したのは、1760 年頃からである²⁾。足底全面に支持する為の足底面があるウェッジヒールは、1940 年頃フェラガモが作成した。踵部分のないヒールのミュールは、2000 年頃より流行りだした。太いヒールのチャンキーヒールは、2007 年頃より流行りだした。その後、形態を変えながら、現存する様々な形の高位ヒールとなる。他にも多種多様な形状のヒールが存在し、多く使用されている。これは現在、国内靴年間売上数をみると、1 位スポーツシューズ 2 位婦人靴となっている³⁾。(図 2) 定番となっているのは、ピンヒールで、今後も永続的に残る可能性の高位ヒールである。

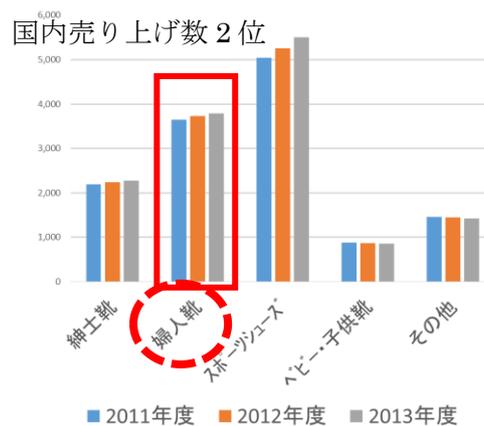


図 2 国内靴売上数

(図 2: 文献 1 より引用改変)

※本研究での高位ヒールの概念は、チャンキーヒール、ミュールなど一般的な靴よりも踵が高いものを高位ヒールと定義することにした。

各高位ヒールのヒール形状は、様々だが前額面上では太さ、矢状面上では高さが歩行に影響しやすい。ヒールの高い厚底靴での転倒時の割合を見てみると、ヒールの低いシューズと比較して多かった⁴⁾。(図3)

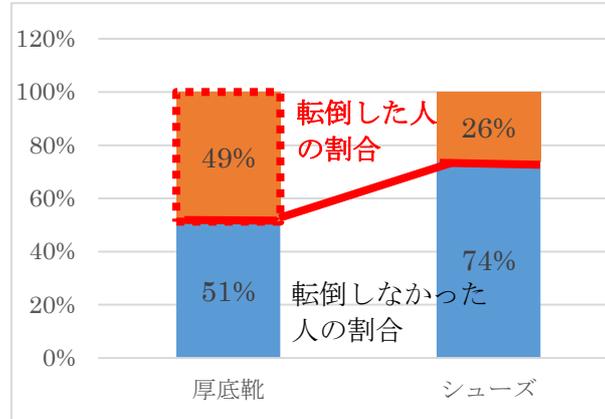


図3 厚底靴・シューズでの転倒転落割合
(図3: 文献2より引用改変)

ヒール部分の高い靴と運動靴の受傷時の疾患の違いを比較すると、ヒール部分の高い靴では、スポーツシューズと比較して、重症疾患に結びつきやすい脱臼・捻挫等の割合が多くなり⁵⁾(図4)、受傷年齢は20歳代が多いという結果となっている。

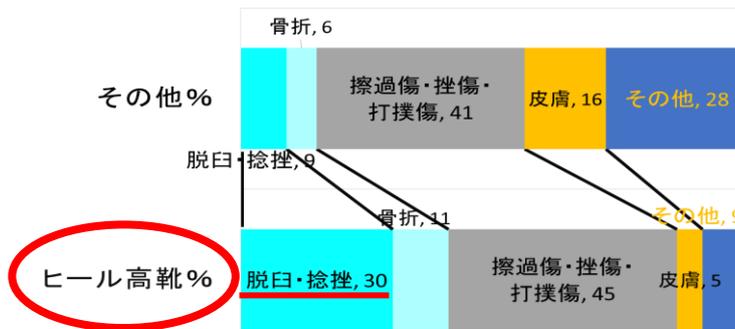


図4 受傷時の高位ヒールとその他運動靴の疾患の違い
(図4: 文献3より引用改変)

受傷割合の高い足関節捻挫は、側方への強い外力により発生する。

足関節捻挫の受傷率は、受診した患者で全体の7~10%⁶⁾ または10000人に1人⁷⁾を占める。

受診していない潜在捻挫患者数を含めると受傷率が高い事が伺える。

足関節捻挫受傷者の40-75%⁸⁾で慢性的な足関節不安定性(Chronic Ankle Instability;CAI)へ移行する。CAIの者は、健常者と比較して歩行中の足底接地時に大きな足関節内反角度を示す

⁹⁻¹¹⁾ ことが報告されている。そのため、歩行中のつまずき等から、強力な足関節内反運動に抗するために、接地前の外反筋活動による動的な保護が不可欠であると考えられている¹²⁾。また、前距腓靭帯の病的弛緩や、関節位置覚の障害を発生するため、足関節運動に影響を与える可能性がある¹²⁻¹⁴⁾。そのため、負の連鎖に陥りやすく、複数回の受傷により足関節の変形性関節症・軟骨病変へ発展する事も報告されている¹⁵⁻¹⁷⁾。捻挫を起こした者は、再度捻挫する比率が高く、その後、負の連鎖を引き起こす可能性がある。(図5)

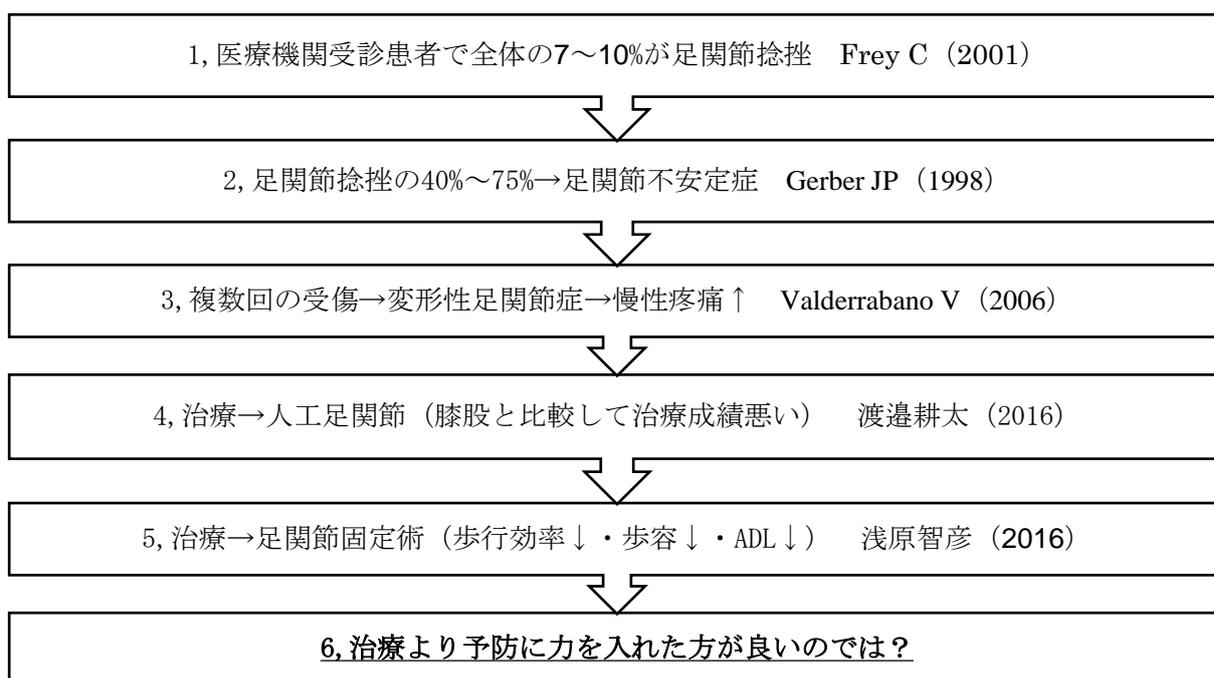


図5 高ヒール受傷時の負の連鎖

一般的に、変形性足関節症の治療において、最終的に足関節骨固定術・人工関節等があるが、足関節固定について「両側はできれば避けるべきである」と足の外科専門医が口を揃えて言うこの台詞は、足関節固定が本当の意味での良い治療では無い事を物語っている。人工足関節置換術もあるが、年齢や変形の程度等から適応に限られる。患者数も多く治療法が発展している変形性股関節症、変形性膝関節症と比較して、安定した長期成績を取れているわけではない。患者も疾患に対する認識が希薄であり、疼痛が増強し病院を受診した時には、既に病期がかなり進行しているのが現状である¹⁸⁻²¹⁾。

そんな危険な高位ヒールを履く理由について、森らの調査では、46%の女性が機能性よりファッション性を重視している問題で「危険や足への負担を感じるが我慢して履いている靴がある」と回答していた²²⁾。土肥らの調査でも、自分に合う靴のサイズがある場合に、最重要項目は、「靴の外見」が127名中75.6%と多かった²³⁾事から、ファッション性を重要視している結果となっている。高位ヒールは、女性の履物として定番化しており、身体への負荷、危険性は深刻であるが、今後も高位ヒールニーズは存在し続けると考えられる。以上のことから、高位ヒール歩行における足関節疾患の初発・再発の予防は重要であると考えられる。

3. 高位ヒールの特性と先行研究

高位ヒールは、スポーツシューズと比較してヒールが高い事が特徴だが、一般的に運動靴と比較して、高位ヒール歩行中の足関節の不安定性は高い。ヒールの高さ（床接地部分から足関節の距離）が長くなる程、テコの原理が働きやすくなり、重心線が支持基底面より外れやすくなる。そのため、ふらつきの際に運動靴装着時と比較して、足関節周囲筋の強い収縮、または初期微動に対する早期の対応が必要となる。（図6）

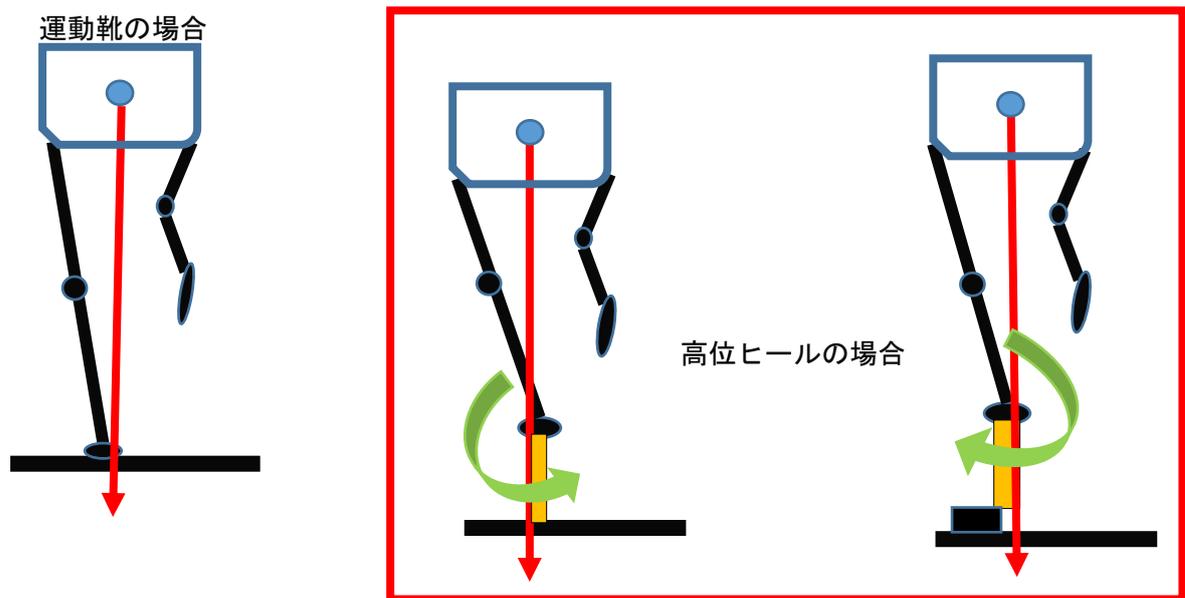


図6 運動靴と高位ヒールの安定性の違い

高位ヒール装着時の足関節のコントロール不良となる原因として、解剖学的構造が関係する。距腿関節の、距骨の外周を脛骨と腓骨が取り囲み、ほぞ接ぎ状となっており運動軸は、ほぼ両果の先端を結ぶ線上にあり水平面に対して内側が外側より10度前後高い。（図7）そのため、前額面上の運動は存在しない。関節の制動は内側・外側の靭帯によって内反・外反運動の制動をしている。外側靭帯は内側靭帯ほど強靱ではない。関節包は非常に薄く、前後部分で構造的に弱い。



図7 足関節解剖

(図7: 文献24より引用改変)

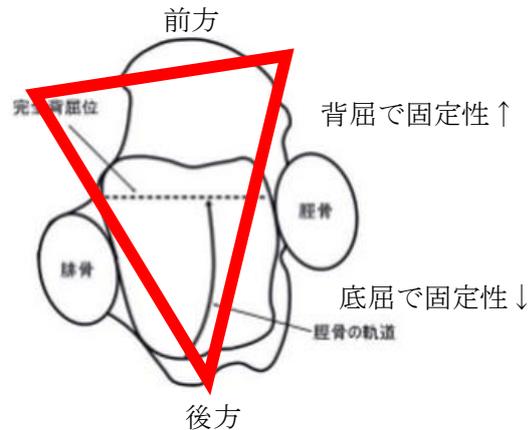


図8 上方から見た距腿関節

(図8: 文献27より引用改変)

主な運動は、底・背屈運動である²⁵⁻²⁶⁾。距骨下関節の荷重下での運動は、踵骨は固定され、距骨は果間関節窩でロックされ、踵骨の内外側方向に傾斜する動きと、距骨と下腿が回旋・内外側へ傾斜する動きが発生する。距骨は、上方から見ると逆三角形の形をしており(図8)、距骨前方は広く、背屈で脛骨腓骨に挟まれてロックがかかり、距骨後方は狭く、底屈で脛骨腓骨間に隙間が出来てフリーになる。これらの解剖学的構造から、足関節周囲組織の緊張が最も緩むニュートラルポジションは、底屈20度、内外反角度中央(足関節内反位)となっており、高位ヒール装着による底屈位で、常に不安定肢位になる事が考えられる。まとめると、距腿関節が底背屈を担当し、距骨下関節は回内外・内外転(総合的な運動は内反・外反)を担当し、常に連動して動く二重関節機構である²⁸⁾。そのため、足関節構造上は、内反可動域的に自由度が大きく、外反は骨による固定性が強い構造と言える。

矢状面での先行研究では、高位ヒールの靴底は、床面との接地面積が運動靴と比較して小さい事が特徴²⁹⁾である。足底面積の中でも、ヒール部分は接地面積が一番小さいため、踵接地時に不安定になりやすい³⁰⁾。遊脚期から立脚期にかけて、足関節底屈とともに生じる足趾の伸展に伴うウィンドラス効果により、足底接地面積が減少する³¹⁾。高位ヒールの底面積が5cm²未満になると、閉眼時の重心動揺距離が大きくなる³²⁾と報告されており、接地面積が小さい高位ヒ-

ルは不安定な履物と言える。また、高位ヒールは、足関節が底屈位に固定され、踵からの接地をうまく行うことができない³³⁾。そのため、高位ヒールを着用した歩行では、踵接地と同時に前足部まで接地させ、接地面積を広げることで不安定さを補うことが予測される¹⁵⁾。ヒールの適正な位置の違い、靴の片減り、路面斜度等の環境の変化が起こっている状態で接地した際、重心線が通常より基底面から離れる可能性が高くなる。緊張せずに平地を歩いている時に、怪我や転倒が多いという岩崎ら⁵⁾の厚底靴の調査結果から、環境の変化を予想していない場合、足部周囲筋の収縮が間に合わず足部構造上の問題の他、内反外反捻挫を発生させる可能性が高くなると考えられる。岩崎の研究からもヒールの高いミュール（踵部のないつまみサンダルの高位ヒール）を履いているほど、怪我の経験が多くなる傾向がみられる⁵⁾。

ヒールの高さに関しては、先行研究では、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いるものがいくつかある³⁴⁾。ヒール高7cm以下は実用性があり、それ以降は、急激に足部への負荷が増大する³⁵⁾。ヒールなし歩行、ヒール高3cm歩行、ヒール高7cm歩行の比較研究で、歩行速度および距離因子である歩幅とストライド長はヒールなし歩行に比べて、ヒール高7cm歩行で有意に低下した。7cmの高位ヒールでは歩幅やストライドが短縮し歩行速度が低下するが、ヒール高3cmまでであればそれらの影響が少ないことが判明している³⁶⁾。高位ヒールの歩行速度について、歩幅に影響を受けることが報告されており、ヒール高7cmの歩行速度が有意に低下する要因として、歩幅とストライド長の短縮が考えられる³⁷⁾。ヒール高7cm以上の高位ヒールは、履いた際の足部の構造から足関節の底屈が強制され、踵接地時の衝撃吸収の為、下方へ向かう重心を前方へ移行する為、関節ではない所に、踵の円形状を使って回転軸を作り、下肢の推進力として作用するヒールロッカーが短縮する。また、正常歩行では立脚後期に、前足部にある中足骨頭の丸みを支点にして、前方への回転運動を起こすフォアフットロッカーが働き、体重を前方に移動させ前進を行う³⁸⁾。しかし、高位ヒールでは前足部の圧迫により、フォアフットロッカーが働きづらい。そのため、7cm以上の高位ヒールでは推進力が不十分となり、歩幅・ストライド長の短縮が発生すると考えられる。また、高位ヒールは足関節が底屈位に固定され、踵からの接地をうまく行うことができない³⁹⁾。

歩行中の荷重中心軌跡は、ミュール着用時の研究で、荷重中心軌跡はかなり足底内側を通ることが報告されている³³⁾。

前額面での先行研究では、足関節制御に関して、内反からの立ち直りを3次元動作解析装置により、距腿関節の内外反モーメントに着目した研究⁴⁰⁾と、踵部分の太いチャンキーヒールを改造（ヒール位置を内側6mm，内側3mm，外側3mm移動）して前額面での身体の反応を研究⁴¹⁾しており、三次元動作分析装置計測上、外側にヒール位置を3mm移動する事で、左右分圧の右成分（右下肢）で有意な関係を認められている。

先行研究で使用されたチャンキーヒールは、踵の太いヒールの為、支持期底面が広い分、踵中心からヒール外側部までの距離が長く、レバーアームの影響で路面の影響を受けやすいのではないかと考えられる。（図9）

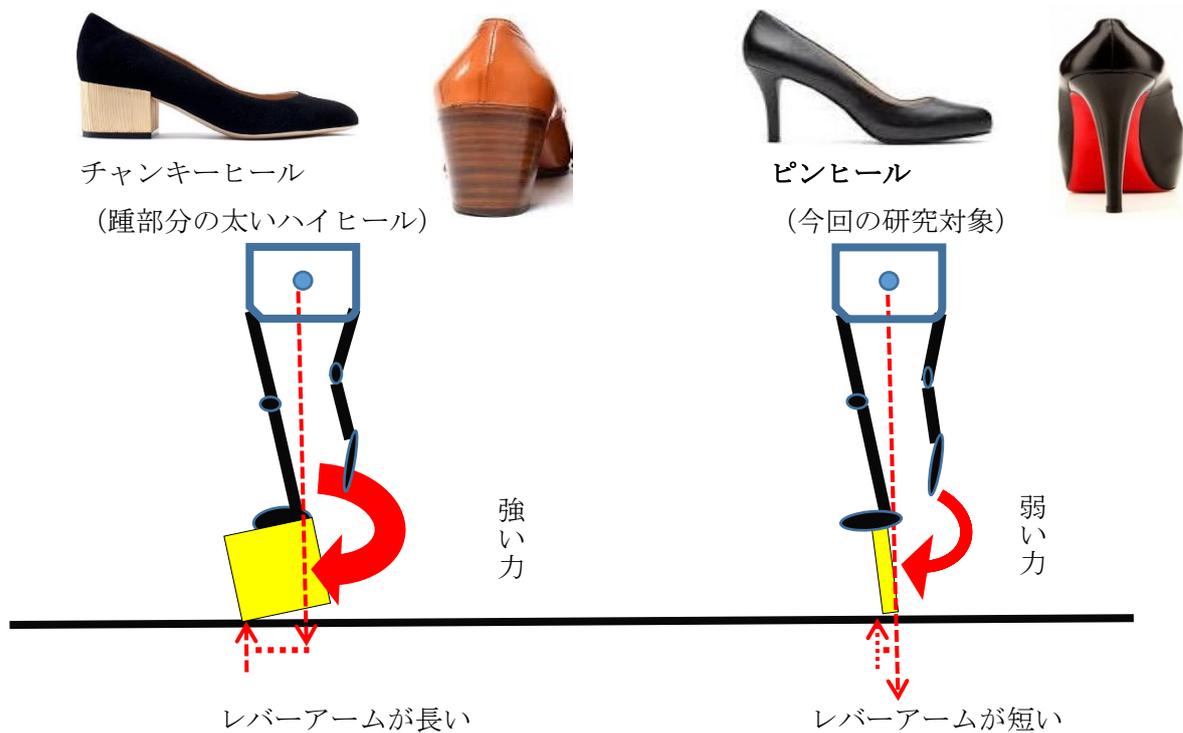


図9 チャンキーヒールとピンヒールの床接地の足底部のレバーアームの差

そのため、支持基底面の狭いピンヒールでは、踵中心からヒール外側部までの距離が短く、レバーアームの影響を受けにくいと予想される。

ヒールの位置について、ヒールを後ろから見た場合、靴の中央に位置する事に関して、国内市場婦人靴 60%を占める婦人靴パーツメーカー株式会社村井、1919年創業の装具メーカー老舗オットーボック・ジャパン株式会社からの返答で、どのメーカーもヒール位置の基準・公表された研究結果はなく、明確なのは、ヒールを中央に位置することで、左右差をなくし、コスト削減が出来るからという返答だった。

先行研究等では、矢状面の研究は多く見られるが、前額面での研究は少なく、捻挫を起こす内・外反との関連について、解明されていない事が多く存在すると思われる。その為、本研究では、前額面での身体の反応に注目をした。

4. 本研究の意義・目的・新規性について

ここまで示してきた先行研究から、本研究の意義・目的・新規性についてまとめる。

足関節疾患は、股・膝疾患患者と比較して有病率は低い、いざ発症すると他の関節疾患と比較して、現在の医療を行ってもADL等の予後が困難となる可能性が高い。そのため、予防が重要である。予防のためには、発症原因の一つである、捻挫の繰り返しの原因を探ることが必要である。高位ヒール歩行中の転倒による捻挫・靭帯損傷は、運動靴と比較して頻度が多く、十分その要因となりうる。本研究の社会的貢献は、転倒経験者の個人特性や靴のすり減り具合等、共通点を発見する事で、現存する高位ヒールの注意喚起の項目を増大する事である。また、先行研究アンケートから、転倒経験者は階段・不整地等明らかに危険が予想できる環境より、平地と油断していた事で、ぐらつきから立ち直りまでの間に反応が遅れたと示唆される。そのため、高位ヒールの受傷者を減らす為には、反応が遅れても転倒しにくい安全な高位ヒール企画製作と、安全性を高めるパーツ企画製作をする必要がある。

本研究の新規性・目的と高位ヒール研究全体の位置づけについては、以下の通りである。

- 1) 転倒つまずき時の路面環境等、個人特性等を詳細に示した研究は少ない。本研究では、足関節捻挫を中心に考察するため、手・膝を地面に着く・手を着かなくてもバランスを崩す事を転倒つまずきと定義し、それらの詳細の解明をする。
- 2) 転倒つまずきしやすい日常でおこる斜め接地では、身体にどのような現象が起こるのか、明確にする必要がある。現在までに、斜面等高位ヒールでの歩行を研究したものはない。路面の凹凸、斜度のある路面、靴のすり減り等、転倒つまずきに結びつく現象が発生した場合、その対策として、足部と靴の固定性を高めるか、高位ヒール歩行中の重心線を、ヒール位置の移動で変えるかが考えられる。最近では、足部と靴の固定性を高めるグッズが販売されている。

(図 10) また、ヒール位置の移動もメジャーではないが、購入後の移動も可能である。

(図 11)



図10 足部固定グッズ

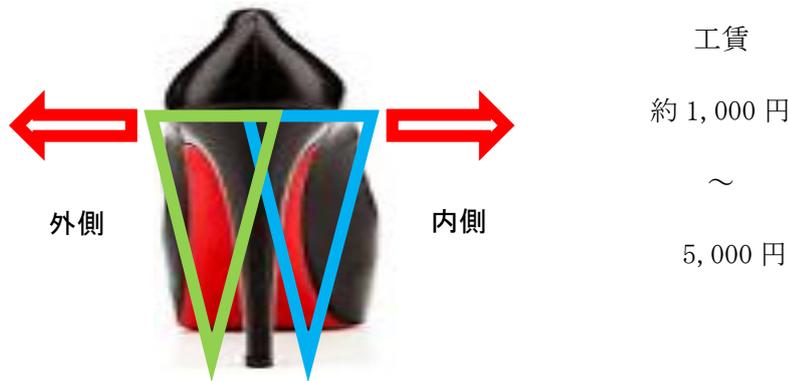


図11 ヒール位置の移動

しかし、高位ヒールの安定性を図る為の、前額面での理想的なヒールの内外側の位置について、注目した研究は少ない。詳細に書かれた規定、明確な基準も各メーカー共に統一されていない。また、定番品のピンヒールで内外側3mmに移動した研究はない。より安定性を図るためには、靴製造過程中・若しくは製造後に個人にあった、適正な重心線に変える必要がある。本研究は、高位ヒールの基本構造部分であるヒール部分に注目した、理想的な高位ヒール作成の為の基礎研究である。(図12)

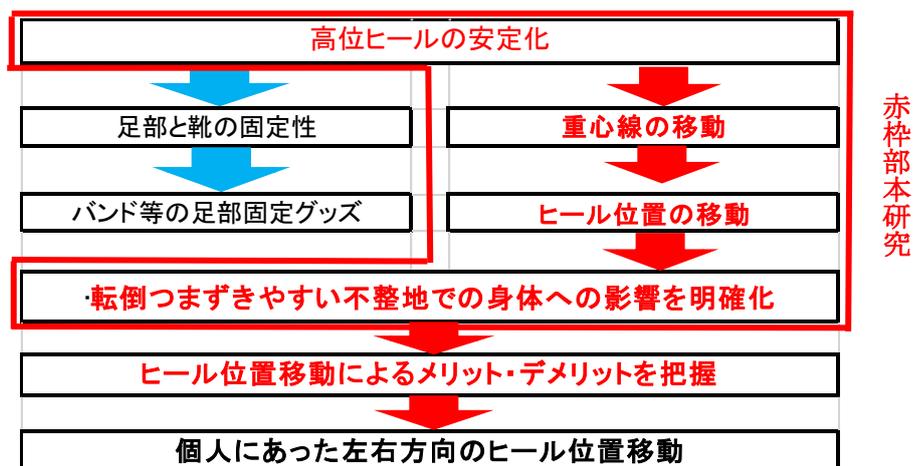


図12 高位ヒールの安定化を図るプロセス

3) 先行研究で不明な点を，今回のアンケート調査をした結果から，斜面での転倒が多い事が判明したので，これを3次元動作解析装置で計測することで，身体的な反応を見ることにした．

また，チャンキーヒールでのヒール移動の先行研究がある事から，これをピンヒール歩行でも実施し，その身体反応をみる事で，靴のメリット・デメリットを把握し，捻挫予防の理想的なヒールの基礎的なデータを得る事にした．（図13）その為，本研究は，以下の段階に分け，今回は第一段階と第二段階の研究を行う．

本研究

- 第一段階：ノーマルヒール平地→ノーマルヒール斜度
（ノーマルヒールの性能の現状把握を目的）
- 第二段階：ノーマルヒール平地→改造ヒール平地
（身体に影響を及ぼした斜度を克服するための改造ヒールの特性を知ることが目的）
- 第三段階：ノーマルヒール斜度→改造ヒール斜度
（斜度を克服するための改造ヒールの開発が目的）
- 第四段階以降：無意識下での上記項目の研究
（改造ヒールの精度を高めることを目的）

図13 高位ヒール研究概要について

5. 倫理上の配慮

本研究は、国際医療福祉大学倫理委員会の承認を受けた。（承認番号：15-Io-72）

（アンケート調査について）

利益相反は無い。被験者には、十分な説明を行い同意を得ることが出来た場合にアンケートへの記入をしてもらい、無記名アンケートとした。倫理面の配慮について、本研究は、ヘルシンキ宣言に準拠し被験者の人権について最大限の配慮を行った。具体的には、個人情報には被験者を識別できる情報の全てを取り除き代わりに符号化して保存した。さらに、被験者は検査者に対し質問する権利を有し、質疑応答には十分な時間を割くようにした。被験者がいつでも協力の意思を撤回できるよう配慮した。この撤回によっても一切の不利益は生じないようにした。被験者に同意を得る方法としては、書面にて研究概要を記した文章を作成し、合わせて口頭でも説明を行った。また、同意書を得ることと並行して同意撤回書を配布し、被験者がいつでも協力の意思を撤回できるよう配慮した。この撤回によっても一切の不利益は生じないようにした。

（計測について）

利益相反は無い。被験者には、十分な説明を行い本研究への同意書に署名した者を被験者とした。倫理面の配慮について本研究は、ヘルシンキ宣言に準拠し被験者の人権について最大限の配慮を行った。具体的には、個人情報には被験者を識別できる情報の全てを取り除き代わりに符号化して保存した。また、研究成果の発表の際は被験者の氏名を匿名化し個人が特定されないようにする。さらに、被験者は検査者に対し質問する権利を有し、質疑応答には十分な時間を割くようにした。被験者に同意を得る方法としては、書面にて研究概要を記した文章を作成し、合わせて口頭でも説明を行った。同意を得ることが出来た場合には同意文章への署名を依頼した。また、同意書を得ることと並行して同意撤回書を配布し、被験者がいつでも協力の意思を撤回できるよう配慮した。この撤回によっても一切の不利益は生じないようにした。本研究において、不利益または危険性として多数の赤外線反射マーカーク貼付する事による皮膚の炎症、腰部への不快感が考えられたが、いずれの支障をきたす者もいなかった。

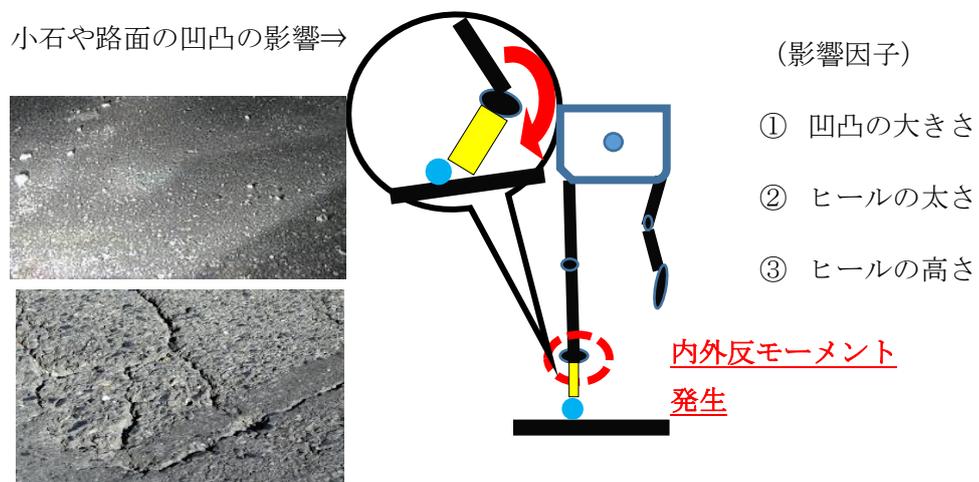
第 II 章

アンケートを用いた高位ヒール転倒経験者の特性調査

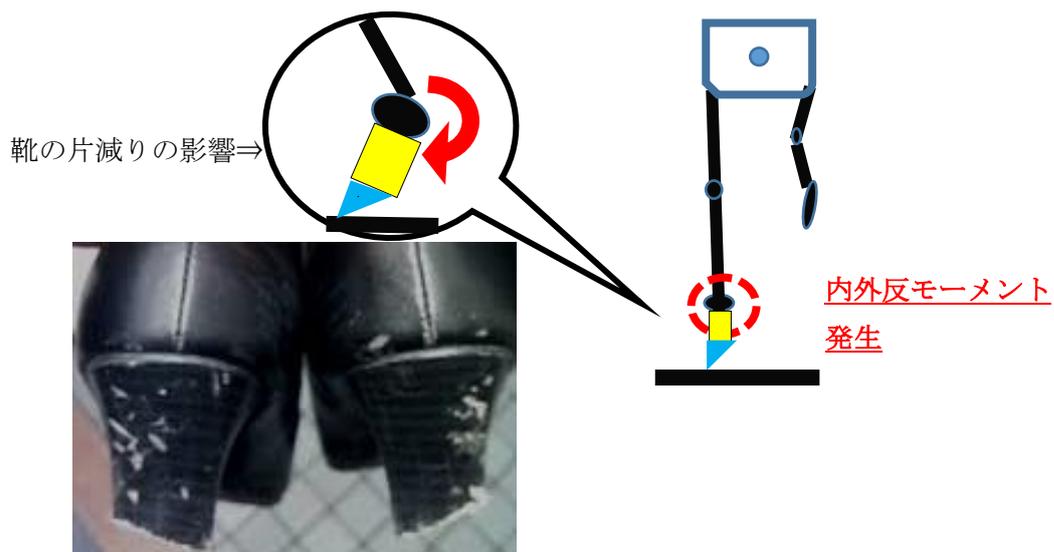
1. 目的

この研究の目的は、受傷者の共通特性を把握する事である。

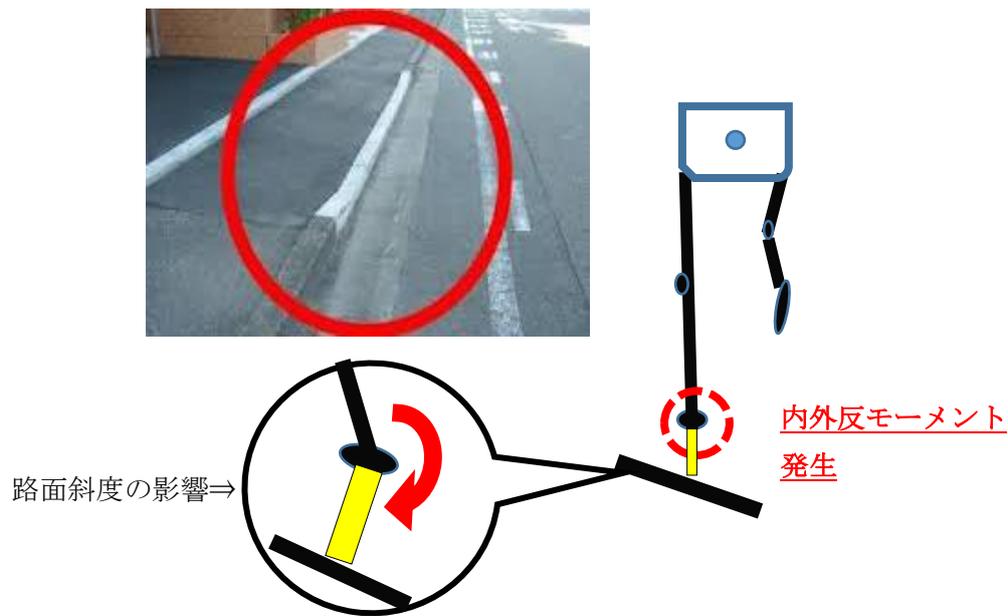
先行研究で、高位ヒール着用時の受傷者特性について詳細を述べたものはあまり見られない。平地で転倒つまずきが多い事は明記されているが、平地での接地状況の詳細について述べられたものは少ない。考えられる路面接地状況は、コンクリート床等の真っ平、小石・荒れた路面の凹凸(図 14)、靴の片減り(図 15)、道路から歩道への登り口の路面(図 16)等からの斜め接地が考えられる。



(図 14) 小石・荒れた路面の凹凸の影響



(図 15) 靴の片減りの影響



(図 16)道路から歩道への登り口の路面の影響

1つ目は路面のわずかな凹凸だが、凹凸の高さの違い、ヒールの太さ・高さによっても、接地角度は変わってくると考えられる。路面の斜度、靴の片減り、接地した際の角度が地面の凹凸と同様の影響を与えると考えられる。斜度がきつくなるほど、内外側どちらかのヒール部分の端のみに床反力が働き平地と比較して、重心線までのレバーアームが長くなり、内外反モーメントを発生しやすくなると考えられる。

また、高齢で転倒する場合、毎回同じ方向に転倒する場面はよく見られるが、年齢が若くても、個人の歩行特性は一定に保たれている事が多い。高位ヒール受傷者特性でも、同様の事が起りえると考えられる。そのため、本研究では、転倒つまづきの歩行環境、歩行中の靴のすり減り位置等に注目し、転倒方向、転倒回数、身体の個人特性との関連を調査する事を目的に研究を行う。

2. 対象と方法

対象は、理学療法士・作業療法士養成校の健常女子学生・現職リハビリセラピスト 154 名。アンケート形式は、授業終了後、紙面で該当欄へのチェックと数字記入とした。アンケート形式は、紙面で該当欄へのチェックと数字記入とした。質問内容と各関係については、高位ヒール使用時の転倒つまずきの有り・無しに分け、その属性（身長、体重、転倒時のヒールの高さ、高位ヒール使用頻度）等の差を比較した。又、転倒方向（左・右）との関係と、靴がすり減っている方（左・右）、（内側・外側）の各々2群間の差を比較した。

統計の方法：平均値、標準偏差、中央値、四分位偏差を算出し、属性（身長、体重、転倒時のヒールの高さ）等の転倒に関する差の検定においては、「転倒経験あり・転倒経験なし」の2群に各属性を分け、ノンパラメトリック手法の Mann-Whitney の U 検定を適用した。靴底がすり減る場所（主に右の靴・主に左の靴）と転倒方向（主に右・主に左）の関係について、統計の方法：アンケート項目「主に左右どちらの靴底が減っていますか？（主に右・主に左）」と「主に左右どちらに転倒・つまずきますか？（主に右・主に左）」の分割表を作成し、Fisher 正確検定を適用した。高位ヒール使用時の転倒つまずき方向と靴底が減る主な場所の関係について、統計の方法：「左右どちらに転倒つまずきますか？」「外側内側どちらがすり減りますか？（外側・内側）」の分割表を作成し、Fisher 正確検定を適用した。

統計的有意性検定の有意水準は 0.05 とした。統計解析は IBM SPSS Statistics23 にて実施した。

3. 結果

1) 転倒つまずき状況について、回収率は91%で対象は140名となった。

転倒つまずき状況は、転倒つまずき者の約7割が斜面と凹凸による斜め接地での出来事だった。(図17)下記の図は、高位ヒール使用者の内訳だが、転倒つまずき全体で140人の高位ヒール使用者に対して、116人が転倒つまずき経験者だった。その人数を100%として、それ以下の項目を%表示で示す。

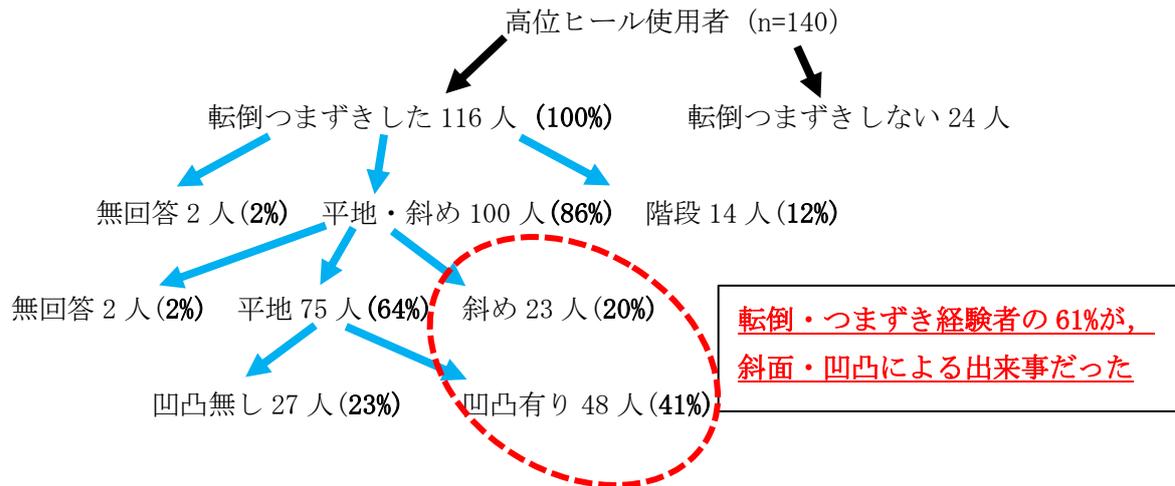


図17 斜面と凹凸による斜め接地について

2) 転倒経験と属性の関係, (n=140)

統計解析の結果：高位ヒール使用時の転倒と各属性の差の検定について、各群間の比較で、有意差は認められなかった。(表1)

表1 高位ヒール転倒の有無による属性における比較

	平均値	標準 偏差	パーセンタイル			四分位 偏差
			25	50 (中央値)	75	
体重 (kg)	49.2	5.1	45	49	52	3.5
身長 (cm)	157.9	5.4	154	157.8	162	4
転倒時のヒールの高さ (cm)	5.7	1.7	5	5	7	1
何度位転倒・つまずきをしたか (回)	10.9	14.1	3	5.8	10	3.5
高位ヒール使用頻度 (回/月)	5.6	6.6	1	3	8	3.5

Mann-Whitney の U 検定

3) 靴底がすり減る場所と転倒方向の関係

統計解析の結果：靴底がすり減る場所と転倒方向の関係について、両変数に有意な差が認められた。転倒方向は、靴底がすり減る場所が主に右の人は、主に右である割合が高く、靴底がすり減る場所が主に左の人は、主に左である割合が高かった。（表 2）

表 2 靴底がすり減る場所と転倒方向の関係

		左右どちらに転倒・つまずくか	
		主に右	主に左
靴底の減り	主に左	56人 (82.4%)	12人 (17.6%)
	主に右	27人 (61.4%)	17人 (38.6%)

Fisher 正確検定： $p < 0.05$

4) 高位ヒール使用時の転倒つまずき方向と靴底が減る主な場所の関係について、統計解析の結果：有意な差は認められなかった。（表 3）

表 3 高位ヒール使用時の転倒つまずき方向と靴底が減る主な場所の関係について

		左右どちらに転倒・つまずくか	
		主に右	主に左
靴底は外側と内側どちらが減っているか	外側	61人 (76.30%)	19人 (23.80%)
	内側	21人 (67.70%)	10人 (32.30%)

Fisher 正確検定： NS

4. 考察

転倒つまずき状況は、転倒つまずき者の約6割が、荒れた路面・小石、斜度のある路面、斜め接地での出来事だった。靴底がすり減る場所と転倒方向の関係については、いつも転倒する方向と、靴が主に磨り減っている方向が一致した。方向が一致した理由として、転倒は重心の位置がいつも偏っている同じ方向で、靴の磨り減りも転倒とは関係なく磨り減っているか、または二つの因子が比例して転倒回数が増えるかが考えられる。他に、重心が左右どちらかに偏った歩行をした際、重心が乗っている下肢に路面からの外力等により、想定していた以上の重心動揺を起こすと、立ち直りに必要な筋の収縮力、反射スピードが間に合わない事が考えられる。先行研究では、歩行速度の増加に伴い、身体重心の左右動揺幅が減少することを示している⁴²⁾。また、重心がより多く乗っている足底部は、重心がのっていない方と比較して、路面からの摩擦力が増大し靴底が減ると推察される。靴外側摩耗理由として、歩行中、距骨下関節の回外により踵外側部が、ヒールコンタクト時に先に接地するため、内側より外側のすり減りが多くなると考えられる。靴底のすり減り具合を調査した結果⁴³⁾からも、足部外側のすり減りが多いことが確認されている。齋藤ら⁴³⁾の調査では、調査対象者の大部分の人が、踵外側部の摩耗を訴えており、その中で、安定性・衝撃緩衝性の低下を感じたことがある調査対象者は4割程であった。踵外側の摩耗は、違和感や負担感を身体へ与えていると考えられる。しかし、違和感や負担感が必ずしも靴の買い換えのきっかけにはならないことから、一般に歩行中の安定性・衝撃緩衝性の機能について重要視されていないことが示唆される。靴底の摩耗によりおこる足部が外側を向く toe out 戦略は、外側不安定性を低減する代償に、膝関節外反によるメカニカルストレスを生じさせる⁴²⁾。他、先行研究でも、摩耗がミッドソールまで及ぶ程度であった場合、床反力及び距腿関節底屈モーメントが増加し、踵接地時から荷重応答期にかけて、距腿関節の底屈が早まることが示唆された。一方で、外側摩耗傾向が強い群は、弱い群に比べ COP の外側への変化が大きい傾向を示している⁴³⁻⁴⁴⁾。高位ヒール使用時の転倒つまずき方向（左・右）、と靴底が減る主な場所（内側・外側）の関係について、統計解析の結果、有意な差は認められなかった。これらの結果から、両者は、関連がない事が判明した。

転倒・つまずき経験者の約6割が、荒れた路面・小石、斜度のある路面による影響を受けていた事、転倒方向と靴の磨り減る方向が同一であること、靴底が磨り減ることにより、減っていない時と比較して、歩行効率に変化があること、歩行に対する不安感が発生していること、これらの事から斜め接地は、転倒に関与すると思われる。これら先行研究と本研究と、ピンヒールの需要から、先端の尖ったヒールで、斜め接地での歩行の影響を研究する事が、優先されると考えられた。また、転倒方向と靴が磨り減る方向は同一である事、踵接地の際に歩行効率が変わってしまうこと等から、ヒールの適正な場所を把握することが重要と思われ、一般に販売されているヒール中央から、どの位置までが、身体へ影響を及ぼさない位置なのか、知る必要がある事が考えられた。

第 III 章

路面斜度がある場合の高位ヒール歩行計測の比較検証

1. 目的

一般的に販売されているピンヒールが、歩行中、極端な山道等ではなく、街中の凹凸路面や斜度等の不整地や、靴底のすり減り等の状況で、ヒール接地時に、身体・靴の構造的観点より適応出来ていないと考えられる。そのため、今回は斜面を設定した上で計測を行い、一般的に販売されているピンヒールの性能の現状把握を目的とする。

2. 対象と方法

対象は、理学療法士・作業療法士養成校の健常女性学生 14 名（年齢・身長・体重±標準偏差）年齢 21.3 ± 0.7 ，身長 158.1 ± 4.5 ，体重 49.6 ± 4.7 ，BMI 19.8 ± 1.1 とした。各計測の前に足長から $\pm 5\text{mm}$ のサイズで歩行時のずれが生じない事を確認し，十分訓練をした上で高位ヒールを履いて，6 度の斜面を真横に歩行してもらい，計測を行った。計測方法は，赤外線カメラ 6 台を含む三次元動作解析装置(VICON NEXUS.Oxford Metrics 社製)と，床反力計(OR6-6-2000, AMTI 社製)を 4 枚設置し，計測を行った。

三次元動作解析装置は，試験エリアの周囲に取り付けられたカメラから，マーカと呼ばれる光を反射する球体の動きを検知することにより，マーカを付けた動く物体の動きを数値化して記録し，解析が出来る。（図 18）カメラには LED が取り付けられており，そこから赤外光が照射される。人体の計測を行う場合，各関節点に反射マーカを取り付ける。この反射マーカの表面にはガラスビーズがコーティングされており，再帰反射という性質をもつ素材で出来ている。再帰反射とは，普通の反射と異なり，光がどのような方向から当たっても，光源に向かってそのまま反射するように工夫した反射方法である。赤外光が当たると反射マーカが光り，その反射マーカの動きを複数のカメラ（2 台以上）で捉え，反射マーカの二次元の位置座標から，三角測量の原理を使用して，三次元座標の位置情報を計算し，その人の動作を計測・解析する⁴⁵⁻⁴⁶。

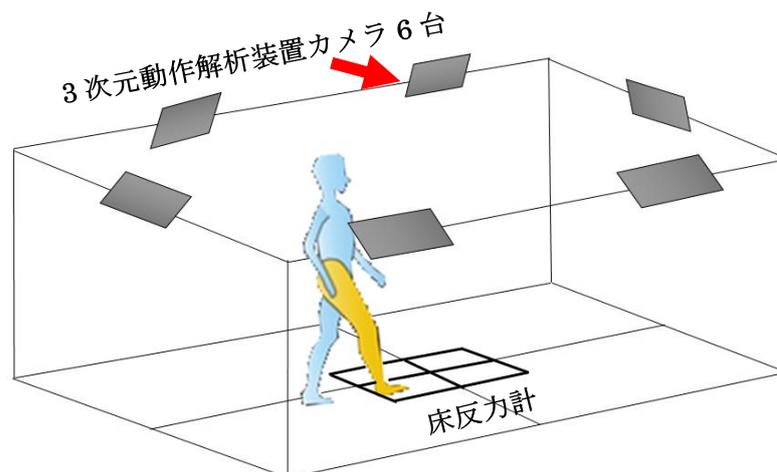


図 18 3次元動作解析装置と床反力計

床反力計（フォースプレート）は、床反力と呼ばれる身体とフォースプレート間の相互作用によって発生する力を計測する装置で、通常4つの3軸力覚センサーを配置し、その上のプレート（通常金属製）で運動する際に発生する力を計測する。4つの力覚センサーで感知しているため、各センサーに作用する力を f_1 , f_2 , f_3 , f_4 とすると、それらの和である $F = f_1 + f_2 + f_3 + f_4$ が床反力である。この計測から鉛直方向（ F_z ）、前後方向（ F_y ）、左右方向（ F_x ）の3方向分力に分けられる⁴⁷⁻⁴⁸。 (図19) 3次元動作解析装置と床反力計を同時に使用することで、関節モーメント（関節トルク）の計測などが可能となる。関節モーメントとは、身体に加わる外力が関節を回転させようとするモーメントに対抗して、身体内部の力を発生する力のモーメントである⁴⁹。

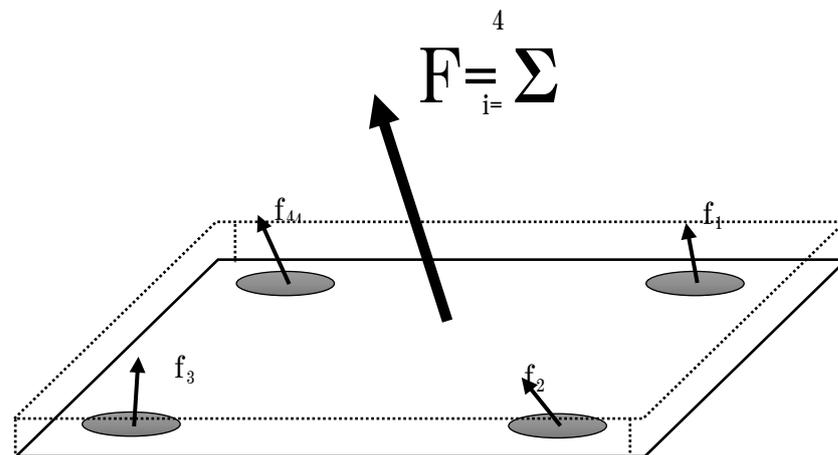


図19 床反力計

上記装置を用意し、赤外線反射マーカー(9mm, 14mm 2種類)を全身合計 35 箇所(Plug in gate) 高位ヒール部(踵骨隆起は、裸足立位時の第2中足趾節関節と同じ高さを確認し足関節隆起に相当する部位に貼付)下肢(第2足趾MP関節と同高位での踵骨隆起、両側の膝関節中心、第2足趾MP関節、膝関節中心部マーカーと外果を結んだ線上、外果、膝関節中心部マーカーとASISを結んだ線上の遠位1/3)骨盤(両側の上前腸骨棘、上後腸骨棘)、体幹(右側肩甲骨下角、剣状突起、胸椎切痕、第10胸椎棘突起、第7頸椎棘突起)、上肢10箇所(第2手指MP関節、両側の肩峰、橈骨茎状突起、尺骨茎状突起、上腕骨外側上顆)、頭部(マーカー付きヘアバンドを装着)、に装着し、高位ヒール靴を履いた状態で、一般販売されている高さ7cmの高位ヒールで、裸足歩行の

スピードにメトロノームの音を合わせ、平地と斜度のある3種類の路面を意識した状態で各3回歩行し、測定を行なった。ヒールの種類については、定番のピンヒールとした。データは、一歩行周期のピーク時の平均値をとった。

7cmを選定した理由は、先行研究と解剖学観点からも、底屈20度で足部はニュートラル状態となり最も不安定性が高くなるため、日本人女性平均足サイズ23.5cmのヒールの高さを見てみると、安全の為19度以下を選択すると7cmとなる。(図20) (表4) 本研究では、これらを参考にヒール高7cmを選定した。



足のサイズ

表4 靴のサイズ別ヒールの高さと角度

	ヒールの高さ		
	7cm	8cm	9cm
22.5cm	18°	21°	24°
23cm	18°	20°	23°
23.5cm	17°	20°	23°
24cm	17°	19°	22°
24.5cm	17°	19°	22°

図20 ヒールの角度

前足部から踵までの角度

斜め接地の設定については、高位ヒールを履いた者が歩行する可能性の高い路面として、山道等ではなく一般道で、街中の一般道(道路横断勾配・車道から宅地に入る縁石の乗り口等)の斜度を東京・神奈川を15ヶ所計測し(表5)、なおかつ国土交通省の路面角度規定を参考に、路面斜度を6度に設定した。(図21)

表 5 路面斜度計測数

路面角度	5度	6度	7度	8度
該当数	3	9	2	1

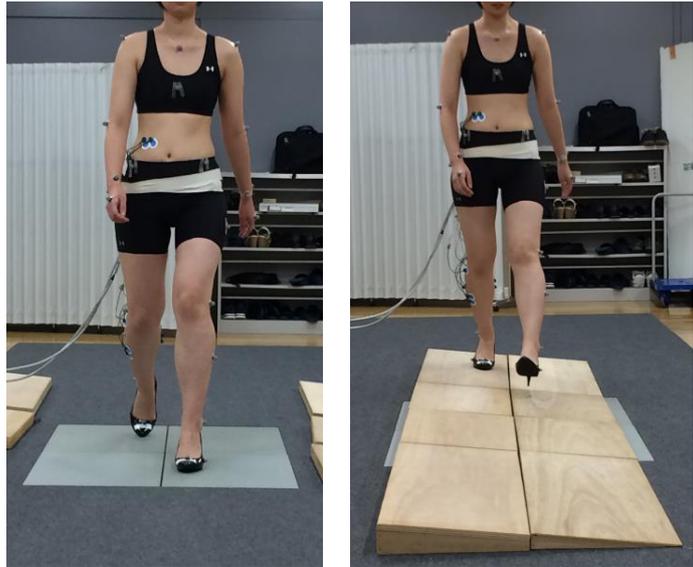


図 21 平地路面(左写真)と路面斜度 6° の路面(右写真)

歩行時の意識状態について、先行研究において無意識下での高位ヒール歩行研究は、事後のアンケート調査によるものだけで、無意識での実験を行ったものはない。意識しない状態での研究はリスクが多く、また意識状態は個人差があり、ばらつきが出やすい為、本研究では、確実な外枠から固めるように意識下での歩行とし、研究モデルをシンプルにした。

統計の方法：角度と傾斜（右傾斜・左傾斜・平地）の関係について、各傾斜の角度の中央値，四分位偏差を集計し，対応のあるノンパラメトリックでの Friedman 順位検定を適用した。Friedman 検定が有意を示したときは，次に各傾斜の差に多重比較検定（Wilcoxon signed-rank 検定 Bonferroni 補正）を適用した。統計的有意性検定の有意水準は 0.05 とした。

3. 結果

1) 靴底・路面等の接地面の斜度と高位ヒールとの関連の研究 (n=14)

X 軸方向に関して、3 種類の路面比較の統計の結果：各傾斜の Rt Ground Reaction Force (表 6) Rt Knee Angles (表 7) に有意差が認められた。

Y 軸方向に関して、3 種類の路面比較の統計の結果：各傾斜の Rt Ankle Moment (表 8) Rt Knee Moment (表 9) に有意差が認められた。

表 6 X 軸方向の床反力に関して

項目	軸分類	結果
	X (左右)	*
床反力	Y (前後)	
	Z (鉛直)	

* : p < 0.05

表 7 X 軸方向の膝関節角度に関して

項目	軸分類	結果
膝関節角度	X (屈伸)	*
	Y (内外)	

* : p < 0.05

表 8 Y 軸方向の膝関節モーメントに関して

項目	軸分類	結果
膝関節モーメント	X (屈伸)	
	Y (内外)	*

* : p < 0.05

表 9 Y 軸方向の足関節モーメントに関して

項目	軸分類	結果
足関節モーメント	X (屈伸)	
	Y (内外)	*

* : p < 0.05

2) X 右床反力について (表 10)

表 10 Rt Ground Reaction Force

	傾斜			P値	結果	結果					
	①右傾斜	②左傾斜	③平地			結果 ①vs②	結果 ①vs③	結果 ②vs③	結果	結果	
平均値	8.19	-0.34	-0.39	<0.001	*	<0.001	*	<0.001	*	0.74	*
標準偏差	0.17	0.08	0.1								
中央値	8.19	-0.36	-0.38								
四分位偏差	0.12	0.08	0.08								

※1 Friedman 検定 ※2 Wilcoxon signed-rank 検定 Bonferroni 補正 * : p < 0.05

多重比較検定の結果、Rt Ground Reaction Force は右傾斜と左傾斜、右傾斜と平地に有意差が認められ、角度はともに右傾斜が大きかった。

3) X 右膝関節角度について (表 11)

表 11 Rt Knee Angles

	傾斜			P値	結果	結果					
	①右傾斜	②左傾斜	③平地			結果 ①vs②	結果 ①vs③	結果 ②vs③	結果	結果	
平均値	-5.41	8.21	7.03	<0.001	*	<0.001	*	<0.001	*	1	*
標準偏差	10.27	7.37	5.83								
中央値	-2.94	6.71	7.22								
四分位偏差	5.57	4.15	3.38								

※1 Friedman 検定 ※2 Wilcoxon signed-rank 検定 Bonferroni 補正* : p < 0.05

Rt Knee Angles は右傾斜と左傾斜, 右傾斜と平地に有意差が認められ, 角度はともに右傾斜が小さかった.

4) Y 右膝関節モーメントについて (表 12)

表 12 Rt Knee Moment

	傾斜			P値	結果	結果					
	①右傾斜	②左傾斜	③平地			結果 ①vs②	結果 ①vs③	結果 ②vs③	結果	結果	
平均値	-5.41	8.21	7.03	<0.001	*	<0.001	*	<0.001	*	1	*
標準偏差	10.27	7.37	5.83								
中央値	-2.94	6.71	7.22								
四分位偏差	5.57	4.15	3.38								

※1 Friedman 検定 ※2 Wilcoxon signed-rank 検定 Bonferroni 補正* : p < 0.05

Rt Knee Angles は左傾斜と平地に有意差が認められ, 角度は平地が大きかった.

5) Y 右足関節モーメントについて (表 13)

表 13 Rt Ankle Moment

	傾斜			P値	結果	結果					
	①右傾斜	②左傾斜	③平地			結果	①vs②	結果	①vs③	結果	②vs③
平均値	228.13	116.33	200.71	<0.001	*	<0.001	*	0.375	*	<0.001	*
標準偏差	49.66	43.19	49.87								
中央値	224.34	118.19	191.85								
四分位偏差	30.93	34.56	41.45								

※1 Friedman 検定 ※2 Wilcoxon signed-rank 検定 Bonferroni 補正* : $p < 0.05$

多重比較検定の結果, Rt Ankle Moment は右傾斜と左傾斜, 左傾斜と平地に有意差が認められ, 角度はともに左傾斜が小さかった.

5. 考察

本研究では、被験者に一般の平面接地と違う斜度のある路面を、意識下で歩行を計測し、環境変化にどのように身体が対応するのか研究した。平地・内外側6度の斜面の3種類の路面で、X軸方向に関しては、床反力、膝関節角度、Y軸方向に関しては、膝関節モーメント、足関節モーメントで有意差が認められた。これらの結果から、斜度のある路面では、平地と同様の身体反応を維持する事が困難な為、転倒つまずきしない為の代償動作が発生していると考えられる。以下、詳細について述べる。

1) X 右下肢床反力について

X軸方向の床反力に関しては、右傾斜と左傾斜、右傾斜と平地に有意差が認められた。

(表 14) (図 22) 平地と右傾斜の比較で、右成分が優位に増加している事について、平地での重心線は、基底面外側までの距離が長く、歩行中のぐらつきがあっても、距離が長い為、重心線を基底面内に保持する為、足関節回外が働き出すまでの反応時間に余裕が持てる。しかし、傾斜では、その逆が起こり、余裕が持てない。そのため、歩行中、常にある一定の回外筋の収縮を起こし、立ち直りが早期に出来るように、スタンバイされていると考えられる。

表 14 X 軸床反力 n = 14

ヒール位置	平均値(N)	SD
右傾斜	8.19 ± 0.17	
平地	-0.39 ± 0.09	
左傾斜	-0.34 ± 0.08	

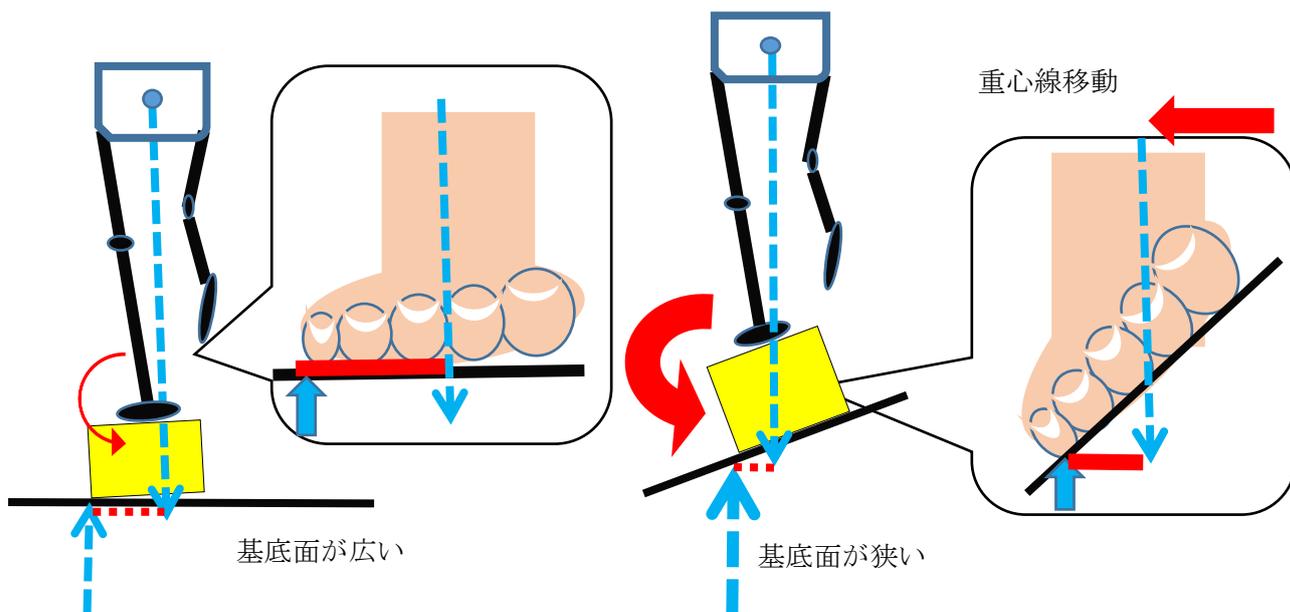


図 22 X 軸上右床反力

2) X 右膝関節角度について

X 軸（屈伸）方向の右膝関節角度に関しては、右傾斜と左傾斜、右傾斜と平地に有意差が認められた。平地と比較して右傾斜歩行での膝関節伸展角度が増加している。右傾斜では、足部の内反が発生するため、足関節外反可動域上、内反と比較して対応出来る角度に制限がある為不安定となりうる。そのため、股関節を内旋し（表 15）、足関節内反し、解剖で述べた足関節の安定性を高めるため背屈となる。（表 16）結果、腓腹筋の張力が増し、膝を伸展して（表 17）重心の前方移動を可能にし、足関節の安定性を補っている可能性が考えられる。

(図 23)

表 15 Z 軸股関節角度 n = 14

ヒール位置	平均値(°)	SD
右傾斜	12.83 ±	23.18
左傾斜	15.12 ±	23.36
平地	14.76 ±	23.76

表 16 X 軸足関節角度 n = 14

ヒール位置	平均値(°)	SD
左傾斜	1.06 ±	5.56
平地	-0.61 ±	5.28
右傾斜	-2.5 ±	5.52

表 17 X 軸膝関節角度 n = 14

ヒール位置	平均値(°)	SD
左傾斜	8.21 ±	7.12
平地	7.03 ±	5.64
右傾斜	-5.41 ±	9.92

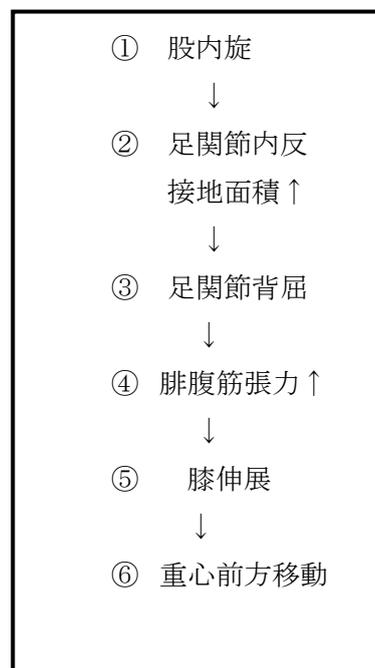
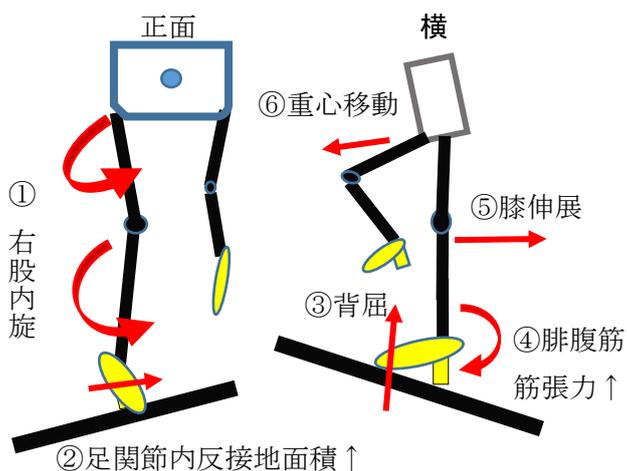


図 23 X 軸上右膝関節屈曲伸展角度

3) Y 膝関節モーメントについて

Y 軸（内外反）方向の膝関節モーメントに関しては、左傾斜と平地に有意差が認められた。

（図 24）左傾斜は平地と比較して、膝外反モーメントが減少している。（表 18）股関節外転角度は増大しており（表 19），左傾斜等の歩行中は、股関節を外転して歩行するドウシャンヌ様歩行で、支持基底面の広い平地と比較して、基底面の狭い斜面での、重心線を正中に保っていると考えられる。

表 18 Y 軸膝関節モーメント n=14

ヒール位置	平均値(N)	SD
平地	417.02	± 60.03
右傾斜	388.49	± 73.58
<u>左傾斜</u>	<u>339.56</u>	<u>± 62.48</u>

表 19 Y 軸股関節モーメント n=14

ヒール位置	平均値(°)	SD
<u>左傾斜</u>	<u>1.06</u>	± 5.54
平地	-0.61	± 5.26
右傾斜	-2.5	± 5.50

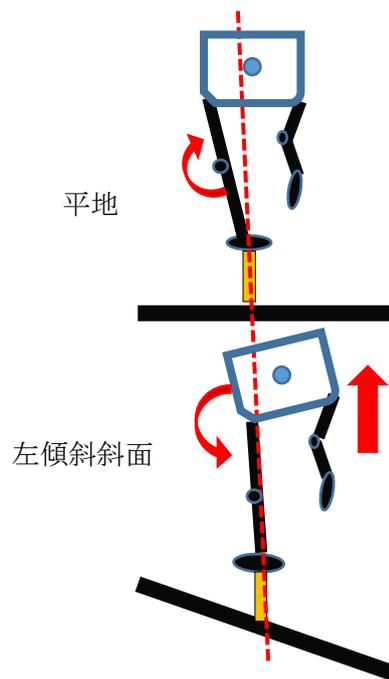


図 24 Y 軸上右膝関節モーメント

4) Y 足関節モーメントについて

Y 軸（内外反）方向の足関節モーメントに関しては，右傾斜と左傾斜に，平地と左傾斜に有意差が認められた．平地と左傾斜を比較して，右足関節モーメントが，低値を示している．

（表 20）平地・左傾斜と比較して足関節内反・外反の安定性は，解剖を見ると外反は，内反と比較して，骨靭帯等の構造的要素により制限がある．そのため，左傾斜では足関節の外反可動域を確保するために，外反モーメントを減少し，ドゥシャンヌ様歩行で正中を保とうとしていると考えられる．（図 25）

表 20 Y 軸足関節モーメント n=14

ヒール位置	平均値(Nm)	SD
右傾斜	228.13	± 47.85
平地	200.71	± 48.06
左傾斜	116.33	± 41.61

- ① 左傾斜により外反を強制される
 - ② 外反モーメント有意だと，より足関節外反位
 - ③ 外反可動域で対応出来かねるため，足関節外反モーメント↓

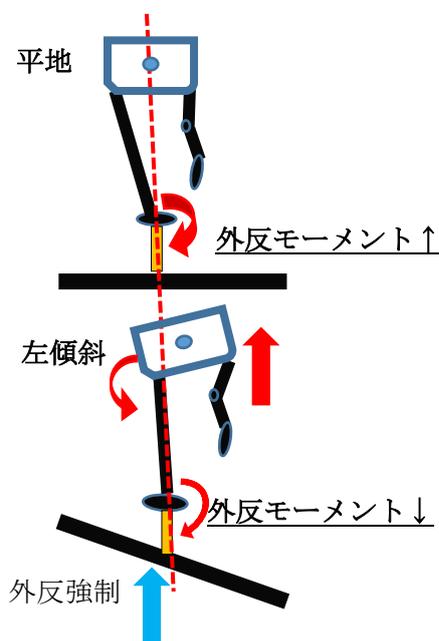


図 25 Y 軸上右足関節モーメント

ここまでの結果で，路面を意識下での高位ヒール歩行中，平地と比較して6度の斜面で，右傾斜では，右下肢の床反力で右成分が増加，右膝関節伸展角度の増加が起こり，左傾斜では，右膝関節外反モーメントの減少，右足関節モーメントの減少が，統計学的に確認された．これらの事象から，路面を意識下での高位ヒール歩行中は，平地では面の接地で，重心線が基底面の内外側端の距離が長い為，重心の動揺に対して反応する時間が長く余裕があるが，斜め接地では，基底面の内外側端の距離が短い為，重心線を正中に保つことが，平地と比較して困難となる事が判明した．

これらの結果から、体の外側方向へ下る斜面では、内反捻挫を起こしやすい事が示唆された。体の内側方向へ下る斜面でも、捻挫を起こす可能性があるが、内反捻挫と比較して、解剖学的に受傷する可能性は低いと考えられる。それらを踏まえて、本研究で提案したい事は、一般道での車の登り口等、斜め接地する坂道に対して、真横に歩行することは、危険を伴う為、極力坂道を避ける事を提案したい。また、他に方法を考察するならば、重心線を移動する事が考えられる。仮に左斜面（図 26）を、ヒールが中央と、内側にある 2 種類の高位ヒールで歩行を比較した場合、ヒールが内側にある方が、重心線の位置に近づくため、安定する可能性が考えられる。

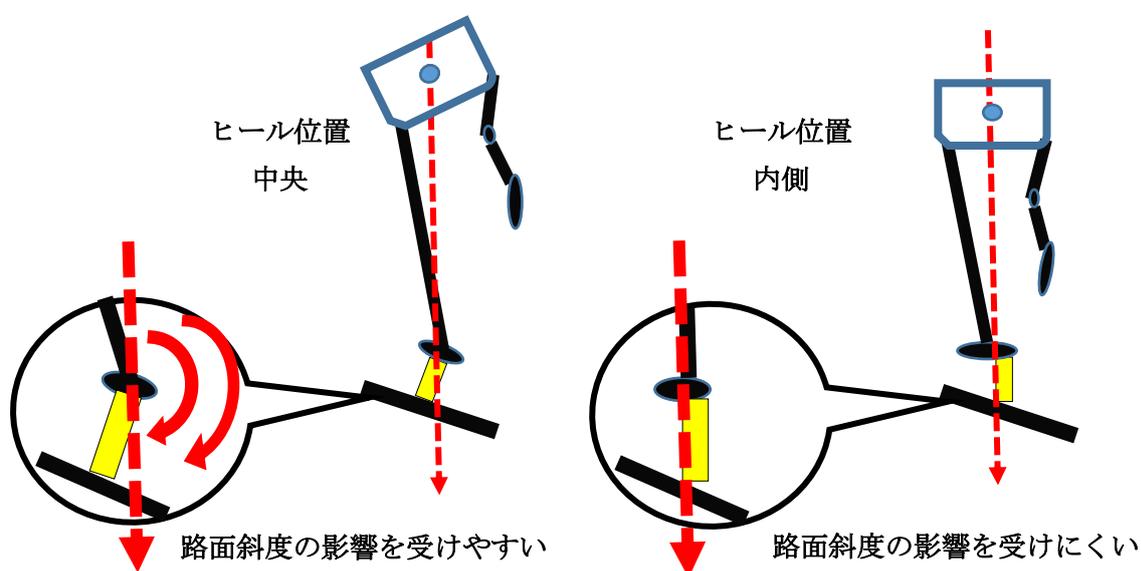


図 26 ヒール位置の変更に伴う重心の違い

逆に右傾斜の場合は、ヒール位置が内側にある靴は、この戦略は不利に働く可能性があるが、足部の重心線の軌跡は、個人差もある為、極度に重心線が内外側へ偏っている人には、時に有効である場合も考えられる。これらの事を明確にするには、ヒール位置を移動した改造ヒールでの斜面歩行を行い、多数のデータより、個人差のメリット・デメリットを解明する必要がある。しかし、その前に、ヒール位置を内外側へどの位、移動しても安全なのか、リスクを考慮し、ヒール位置を内外側へ移動した靴自体の特性を把握する必要もある。

第 IV 章

ヒール位置を変更有無の場合の高位ヒール歩行の比較検証

1. 目的

第Ⅲ章で述べた研究より、ヒール位置を内外側へどの位、移動しても安全なのか、研究を進める上で、ヒール位置を移動した靴のメリット・デメリットを解明する必要がある。

先行研究で、矢状面でヒール位置が高い事で底屈が起こり、足部の不安定性により高位ヒール歩行の危険性が高くなることは広く知られている。しかし、左右のヒール位置の明確な規定のない中、先行研究では、踵の太いヒール（チャンキーヒール）で3mmヒールを外側にずらした際に、中央にある場合と比較して、床反力が増大し変化があった事。また、内側3mm・6mmでは床反力に変化が見られなかった事。先行研究の、緊張せずに平地を歩いている時に怪我や転倒が多いという結果、これらの事から考察出来る事は、内反可動域は外反可動域と比較して可動性が大きく、意識していれば、内反筋の収縮が外側斜め接地に対して対応できると推察できる。しかし、外反は骨等による固定性が強い構造と言える反面、可動域が少ない為に可動域以上の路面では、意識下でも影響を受けやすいという事が考えられる。また、ヒールの太さにより支点、力点、レバーアームが変化する事から、どの形状の高位ヒールも一様に外側へ3mmづらせば変化が起こるとは限らない。そのため、本研究でも先行研究と同様の条件下で意識的に歩行してもらい、外反で踵の細いヒール（ピンヒール）のヒール位置を移動した際の、身体へ及ぼす影響をとらえることが目的である。

3. 対象と方法

対象は、リハビリ養成校の健常女性学生 14 名（年齢・伸長・体重±標準偏差）年齢 21.3 ± 0.7 ，身長 158.1 ± 4.5 ，体重 49.6 ± 4.7 ，BMI 19.8 ± 1.1 とした。各計測の前に足長から $\pm 5\text{mm}$ のサイズで歩行時のずれが生じない事を確認し，十分訓練をしたうえで平地歩行の計測を行った。計測機器は，6 度斜面の歩行計測と同じ計測機器を使用した。計測方法は，一般販売されている高さ 7cm のノーマルヒールと，一般販売されているノーマルヒールを内側 3mm・外側 3mm にヒール位置を移動した改造ヒール 3 種類(図 27)を用意し，斜面歩行と同様の理由で意識下で，裸足歩行のスピードにメトロノームの音を合わせ，同じスピードでそれぞれ 3 回ずつ平地歩行をし，三次元動作解析装置と床反力計にて測定を行なった。3 mm の設定は，前額面上の研究でヒールをずらした研究は，一人の研究者が複数行っている研究しかない事，ヒールの位置を決める基準が無い事，先行研究で内側 6mm では大多数の被検査者達が歩行中強い不快感を抱いた事，先行研究が無く，被験者の怪我のリスクが高くなる為，婦人靴メーカー数社から安全に行えるヒール位置移動距離のコメントを頂いた内容で設定した。

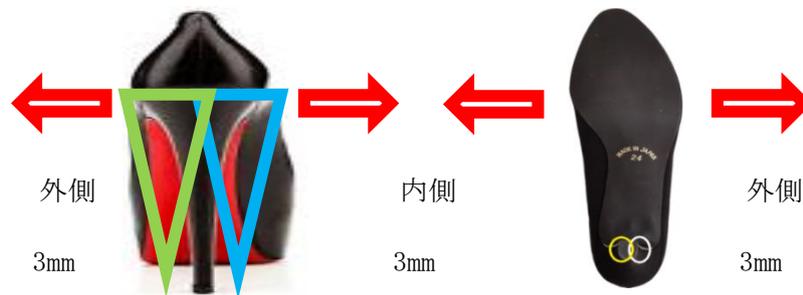


図27 改造ヒール（ヒール位置を内側3mm・外側3mmずつ移動）

統計の方法：ノーマルヒールと改造ヒールの中央値，四分位偏差を集計し，Friedman 順位検定を適用した。Friedman 検定が有意を示したときは，つぎに各傾斜の差に多重比較検定（Wilcoxon signed-rank 検定 Bonferroni 補正）を適用した。統計的有意性検定の有意水準は 0.05 とした。

4. 結果

ノーマルヒールと改造ヒール，各歩行の研究(n=14)

統計の結果：一般販売されているノーマルヒールとヒール位置を内側 3 mm・外側 3 mmに移動した改造ヒール各歩行の GRF と下肢(股・膝・足) のモーメント・角度の平均値に有意差が認められなかった。

5. 考察

本研究では、被験者に一般の高位ヒールと違う履き心地の感覚を認識したうえで歩行を計測し、環境変化にどのように身体が対応するのか研究した。ノーマル、改造ヒール(内側3mm・外側3mmにヒール位置を移動した物)3種類の歩行計測では、ヒール位置内外側3mmの変化には、ノーマルヒールを基本として、平常時に近い状態に対応出来る事から、意識下なら歩行の不安定性と直接繋がらない事が判明した。また、先行研究³⁹⁾では、外側へ3mmずらしたものに有意差が見られた。しかし、今回の研究では、有意差が認められなかった。両者を比較すると下記表・図(表21)(図28)の違いがある。

表21 先行研究と本研究で使用したヒール幅の違い

	全幅 (mm)	中心からの幅 (mm)	改造外側 中心からの幅 (mm)	改造内側 中心からの幅 (mm)
先行研究	27	13.5	16.5	10.5
本研究	7.5	3.75	6.75	0.75

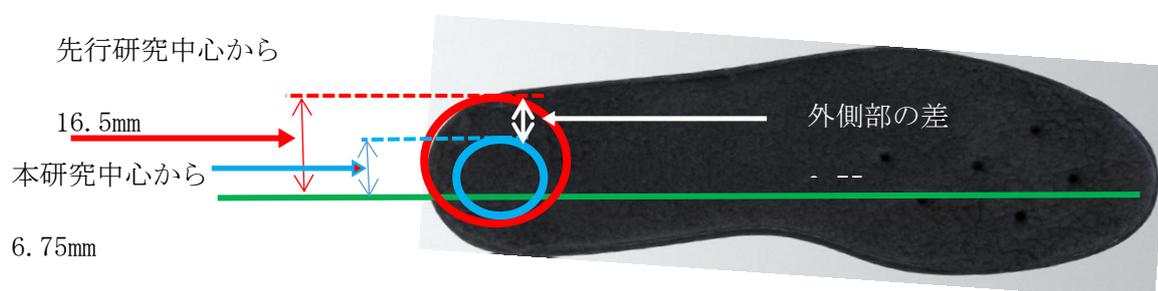


図28 先行研究と本研究で使用したヒール幅の違い

ピンヒールのノーマルの全幅は7.5mmで、ヒール中心から内外側へ3.75mmずつ幅がある。そのため、中心より内外側へ3mmずれていても、0.75mm幅が残り、ヒール自体の中心軸からずれていない。外側部は、本来の幅である3.75mmに3mmプラスされ、内外側へ6.75mm幅となるが、有意差は認められなかった。先行研究で使用したヒール部分は、全幅が27mmで、ヒール中心から内外側へ13.5mmずつ幅がある。そのため、中心より内外側へ3mmずれていた場合、10.5mm幅が残り、ヒール自体の中心軸からずれていない。外側部は、本来の幅である13.5mmに3mmプラスされ、内外側へ16.5mm幅となり、外側へずらした際に有意差が認められた。両者の研究でヒ

ールは中心軸からヒール部分が外れていない事、外側へ6.75mmでは変化は見られないが、16.5mmでは変化が見られることがわかる。これらの事から、ヒール部分の影響は、ヒール中心軸を外れることなく、外側へ6.75mm～16.5mm幅の9.75mmの間に変化が起こる事が判明した。また、研究を進める上で、ヒールを何mm移動するかという点で、ヒールの芯の部分を表示するのは困難な為、前額面で靴の中心に近い方のヒールの内側端と、靴中心から離れたヒールの外側端の各々の位置が、どこに何mmあるかを考慮することが必要と考えられる。本研究でも先行研究でも、重心線が靴中心の位置にあった場合、靴中心からヒールが外れてはいなかった。しかし、仮に、本研究より細いピンヒール、又は左右移動幅の増大を行い、重心線が、基底面からはずれていたら、急激に不安定性が増大する恐れがある。(図29)

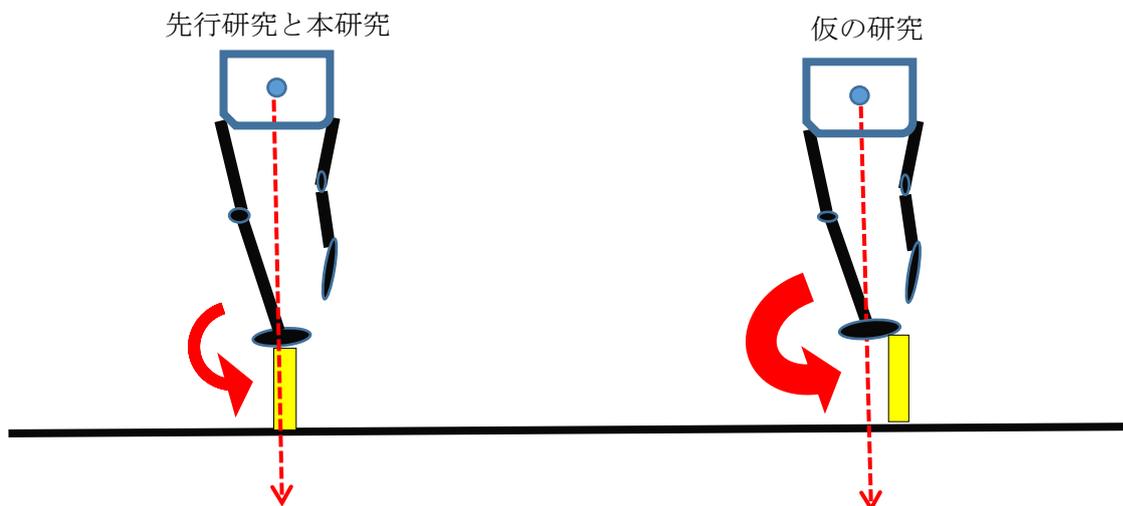


図29 ヒール位置の違いによる不安定性の違い

他に、前述した足のサイズによる角度の違い、身長・体重等の個人差によって、同じ高さの靴、同じ基底面の幅でも、身体にかかる負荷の割合が変化すると考えられる。今後、研究を進める上で、上記の注意を踏まえた上で方法論を考察する必要がある。

第 V 章

総括

本研究は、転倒・つまずきと個人特性との因果関係をアンケート調査し、転倒・つまずき経験者から、予防に結び付く予兆、共通点を分析した。先行研究では、平地の詳細について触れている報告はなく、本研究では、平地の詳細について調査した。結果として、転倒つまずき経験者の約6割が斜めの路面、凹凸のある路面で発生している事、また、靴のすり減り方向と転倒つまずき方向が統計学的に同一という事が判明し、転倒と斜面との関連を見出した。その為、より詳細を知る事と、他で研究されていない為、実際に高位ヒールを着用した状態で、斜面歩行を行い、平地と斜面での身体変化を運動力学的に分析し研究を行った。路面斜度の設定は、一般道路に多い6度の斜度で、リスクの低減を図る為に、斜面を意識してもらい、意識下での歩行で右下肢の計測を行った。結果として、X軸方向に関しては床反力(右傾斜)、右膝角度(右傾斜)、Y軸方向に関しては、右足関節モーメント(左傾斜)、右膝モーメント(左傾斜)に平地と比較して統計学的に変化がある事が判明した。左右の傾斜で変化があった事から、解剖学的に主に内反捻挫と、次に外反捻挫の順に、斜面の斜め接地での歩行は、非常に危険が高まることを理解してもらうことが重要と考える。

次に、高位ヒールでの斜面の対策の一案として、重心線を変える為、ヒール位置を内外側へ移動した際の、身体に及ぼす影響を明らかにした。本研究では、先行研究との関連を知ることで、直接的に因果関係を証明するまでには至らなかったが、身体が変化の出るポイントの次の焦点を絞る事と、研究を遂行するにあたりリスクのポイントを把握する事が出来た。今回のデータで、すべてを網羅することは困難だが、今後、個人の歩行特性等にフォーカスする事、計測機器を変化させる事で、より詳細な結果が見えてくる可能性がある。本研究での計測機器の性質上、ヒール中心を探る事は困難であり、足圧中心計測等、他の機器を複数用いて検証する必要がある。本研究を行った事によって、転倒つまずきしにくいハイヒール制作、転倒予防グッズ企画制作のために、意識下でのハイヒール歩行でも身体への影響が起こるため、それを加味したうえで、無意識下でのハイヒール歩行研究を行う際に、本研究結果からリスクの低減を図る事を提案したい。

上記2点から、7cmの高位ヒールでの歩行では、ヒール移動では身体的反応は見られなかったが、6度斜面では身体反応が現れ、今後の研究の基となる結果が得られた。

研究の限界として、今回は①路面斜度、②路面の凹凸、③靴のすり減り等を、固定された環境での研究を行ったが、小石等地面に固定していない物体の環境の設定、歩行の個人特性・ヒールの状況（太さ、長さ、磨り減る場所、磨り減り具合）等の設定、計測結果と被験者の歩行中の疲労度等持久性を考慮していない。そのため、データで有意差がなくとも、環境の設定変更、歩行距離が長くなる事で、違った結果が出る可能性がある。個人の歩行特性を考慮するために、精度の高い結果を求めるにはデータ数がより必要だが、一人の被検査者の計測時間が長い事、計測機器の使用できる時間等、時間的制約があり困難である。今後は、よりデータ数を収集する事、20代の転倒つまずきが多いという結果から、今回は学生を主に対象としたが、社会人等属性の変更も行う事で、結果に変化が出る可能性もある。しかし、一施設のみの研究では限界があり、複数個所でのデータ収集も必要と思われる。

今後の研究課題として、以下の事項が挙げられる。

- ① 足関節の角度別、身長、体重、歩容の個人差等の個人特性を考慮した研究。
- ② 路面斜度1度～5度までの間の変化の出るポイントを探す事。
- ③ 内外側路面斜度の変化の出るポイントをより探す事。
- ④ 足圧中心計測等、他の機器を使用した、本研究と同条件での研究。
- ⑤ 前額面での外側へ6.75mm～16.5mm幅の9.75mmの間で、変化の出るポイントを探す。
- ⑥ データ数・職種数を増やし、歩行の個人特性と路面状況との関係を解明する。

上記項目の必要性が考えられた。

最後に、本研究では、データ数が少ない為、各個人にあった左右方向のヒール位置を限定するまでには至らないが、次世代研究の根拠となる礎となりうると考えられる。また、高位ヒール転倒率が減少する事で、ADL低下をきたす足関節疾患患者の減少が行え、医療・介護費用の削減、患者のQOL向上につながると考えられる。

謝辞

丸山仁司先生をはじめ、黒川幸雄先生、小田原校の先生方からは研究に関する指導、質疑を頂き、また、アンケート調査の際には、諸先生方の御協力頂きました事を、深く感謝しております。本論文を作成、推敲するにあたり、堀本ゆかり先生、大武聖先生、山本澄子先生におかれましては、多くの助言と御指導を頂きました。感謝申し上げます。東京工科大学石黒圭応先生においては本研究に関する様々な御手配、御助言や研究の貴重な機会を頂きましたことに感謝申し上げます。本研究に御協力くださいました参加者の皆様、計測に関して多大な御協力をくださいました工科大学の皆様には厚く御礼申し上げます。また、実験に参加して頂いた被験者の方々には本研究に対して理解と協力をして頂き、感謝申し上げます。大学院課程を過ごすにあたり、勤務先である済生会湘南平塚病院のスタッフの皆様には、格別の御配慮を頂きました。皆様の御協力なくしては、これまでの研究過程を遂行することが出来ませんでした。感謝申し上げます。

文献一覧

- 1) 木寺英史.日本人の「歩行形態」に関する研究:奈良工業高等専門学校 研究紀要. 2010; (46):49-54
- 2) 市田京子.靴の歴史~ヒールの変遷から~,東京都立皮革技術センター:10-13
- 3) 矢野経済研究所:国内靴・履物小売市場に関する調査結果 2013; file:///C:/Users/rihabiri/Downloads/1251.pdf 2014.5.30
- 4) 国民生活センター,靴の危険を見直そう!1999; <http://www.kokusen.go.jp/pdf/n-19990709.pdf> 2014;5.30
- 5) 岩崎房子.足部の生理機能特性からみた快適靴の設計:平成9~11年度科学研究費補助金(基盤研究C)研究成果報告書 2000:32-35
- 6) Frey C. Ankle sprains. Instr Course Lect, 2001;50:515-520.
- 7) 篠原靖司,熊井 司.解剖からみた足関節外側靭帯損傷の発症メカニズム:臨床スポーツ医学,2013-17;30: 599-604.
- 8) Gerber JP, Williams GN, Scoville CR, et al. Persistent disability associated with ankle sprains: a prospective examination of an athletic population. Foot Ankle Int. 1998;19(10):653-660
- 9) Delahunt E, Monaghan K, Caulfield B. Changes in lower limb kinematics, kinetics, and muscle activity in subjects with functional instability of the ankle joint during a single leg drop jump: J Orthop Res. 2006;24(10):1991-2000
- 10) Delahunt E, Monaghan K, Caulfield B. Ankle function during hopping in subjects with functional instability of the ankle joint: Scand J Med Sci Sports. 2007;17(6):641-648.
- 11) Delahunt E, Monaghan K, Caulfield B. Altered neuromuscular control and ankle joint kinematics during walking in subjects with functional instability of the ankle joint. Am J Sports Med. 2006;34(12): 1970-1976
- 12) Hertel J. Functional anatomy, pathomechanics, and pathophysiology of lateral ankle instability. J Athl Train. 2002;37(4): 364-375
- 13) Yokoyama S, Matsusaka N, Gamada K, et al. Position-specific deficit of joint position sense in ankles with chronic functional instability. J Sports Sci Med. 2008;(7);480-485
- 14) Willems T, Witvrouw E, Verstuyft J, et al. Proprioception and muscle strength in subjects with a history of ankle sprains and chronic instability. J Athl Train. 2002;37(4):487-493
- 15) Harrington KD. Degenerative arthritis of the ankle secondary to long-standing lateral ligament instability. J Bone Joint Surg Am. 1979;61(3):354-361
- 16) Valderrabano V, Hintermann B, Horisberger M, et al. Ligamentous posttraumatic ankle osteoarthritis. Am J Sports Med. 2006;34(4):612-620
- 17) 山口智志.新鮮足関節外側靭帯損傷の診断と治療. 関節外科 2014;33(1):64

- 18) 寺本司,原田将太,高木基行.足関節周囲骨折後の変形治癒に対する手術:術式骨折 2016;(38):5061
- 19) 渡邊耕太, 変形性足関節症の治療とトピックス:北海道整形災害外科学会雑誌北海道整形災害外科学会雑誌,2016;57(2):242-245.
- 20) 高倉義典. 変形性足関節症の病態と治療:中国・四国整形外科学会雑誌 2005;17(2):342-343
- 21) 浅原智彦. 変形性足関節症の治療:専齋 SENSAI.2016;(2):3
- 22) 森 由紀, 大森敏江, 木岡悦子. 足圧分布および筋電図解析からみた流行靴の問題点:日本家政学会誌 52(5):411-420
- 23) 土肥麻佐子, 持丸正明, 河内まき子. 若年女子の靴の意識と靴の履き心地—高齢者との比較—:感性工学研究論文週 2001;2006,6(2):53-58
- 24) 坂井建雄.プロメテウス解剖学アトラス解剖学総論/運動器系 第3版.医学書院,2017(1):641
- 25) 木田貴英.構造による足の固定性:理学療法 2014 ;31,2(2):144
- 26) 構造による足の固定性:理学療法 2007;24,5(5):688
- 27) Donald A Neumann.カラー版筋骨格系のキネシオロジー原著第2版.医歯薬出版株式会社 2012;(3):3
- 28) 壇順司.足関節の機能解剖.一人体解剖から紐解く足関節の機能—理学療法学 2013;40,4:326-330
- 29) 金井 章,今泉史生,後藤寛司.ハイヒール運動靴の歩行に及ぼす影響についての検討:臨床バイオメカニクス.2012;(33):337-341
- 30) 中島 彩,村田 伸,飯田 康平.ヒールの高さの違いが歩行パラメータと下肢筋活動に及ぼす影響:Japanese Journal of Health Promotion and Physical Therapy.2016;6(3):133-137
- 31) Caroline M.S, Rieny J.H, Sjors A. F. C. M. Moonenet, et al,The higher the heel the higher the forefoot-pressure in ten healthy women. The Foot. 2005;(15):17-21
- 32) 宇留野勝正.ハイヒール靴着用時の身体重心動揺:東京家大学研究紀要 2,自然科学.1982;22(2):35-40
- 33) 平林由果,大西範和.ミュール型サンダルの歩行に及ぼす影響—足圧分布解析を中心に—:日本生理人類学会誌 2005;10(2):9-16
- 34) 近藤四朗.ひ弱になる日本人の足.草思社,東京,1993;10-24
- 35) 徳田良英.婦人靴のヒール高さの違いがバランスと歩行に及ぼす影響:日本理学療法学会大会 2012;(0):48100108-48100108
- 36) 中島 彩,村田 伸.ヒールの高さの違いが歩行パラメータと下肢筋活動に及ぼす影響:Japanese Journal of Health Promotion and Physical Therapy.2016;6(3):133-137
- 37) 伊藤 元,橋詰 謙,斎藤 宏・他.大腿四頭筋機能と歩行能力の関係:1985;22(3):164-165
- 38) 平井 茜,青木 修,伴由衣菜.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(2):155-159
- 39) Perry J.ペリー一歩行分析 正常歩行と異常歩行.医歯薬 出版.2007;59
- 40) 石黒圭応, 阿部薫, 近藤優.ハイヒール歩行における足関節内反からの立ち直り戦略:日本福祉工学会誌 2016;8,(1):7-11

- 41) 石黒圭応, 阿部薫, 近藤優.ハイヒール側方変位における下肢への影響:新潟医療福祉学会誌 2008;8(1):20
- 42) 下田 隼人,佐藤 春彦,鈴木 良和.身体重心の左右変動に基づく歩行の動的安定性評価理学療法科学 2008;23(1):55-60
- 43) 齋藤 誠 二,村 木 里志.靴底の摩耗と使用状況および歩容との関係-若年男性を対象として -:人間工学 (42):449
- 44) 早瀬 周平,齋藤 珠生,山田 千穂.靴底踵外側部の摩耗が健常若年者の歩行時の下肢運動に与える影響:理学療法学 2017;(0):38
- 45) 田中 幸子,木藤 伸宏,徳森 公彦.健常者における椅子の高さによる立ち上がり動作の相違に関する研究 -3次元動作解析による-.医療工学雑誌 2008;(2):11-15
- 46) 野尻 紘聖,鍋島 崇統,柴里 弘毅.モーションキャプチャシステムを用いた物体の動作分析事例:熊本高等専門学校研究紀要 2011;(3):63-64
- 47) 鈴木 三夫.歩行分析シリーズ 2 床反力分析概説.医療 1995; 49(2):185-188,
- 48) 才藤栄一,大塚 圭.歩行分析と動作分析.一般財団法人学会誌刊行センター2015:18-22
- 49) 山本 澄子.身体運動のバイオメカニクス.理学療法科学 2003;8,20,18(3):109-114
- 50) 堤本広大.〇客により靴の摩耗は変化するのか?日本理学療法学会 2009. 2010;(0) :H4P1226-H4P1226
- 51) 小出彩友美,倉本尚幸,齋藤誠二.靴底の摩耗が歩容に与える影響の運動学・運動力学的分析 1.人間工学 52(6):249-257

19. あなたの年齢は？可能であればご記入ください。 _____歳

20. あなたの体重は？可能であればご記入ください。 ※小数点第一位まで記入してください。例) 45.5kg→45.5

_____ Kg

21. あなたの身長は？可能であればご記入ください。 ※小数点第一位まで記入してください。例) 154.3 cm→154.3

_____ cm