

ヒール高の違いが歩行時の下肢関節に及ぼす影響

システム工学群

知能メカトロダイナミクス研究室 1190027 太田 鈴菜

1. 緒言

変形性膝関節症（以下、膝 OA）とは、膝関節の軟骨がすり減ることにより慢性炎症や変形が生じ、膝に痛みが現れる疾患である。膝関節の変形は伸展制限と内反変形が特徴的であり、そこから上下に運動連鎖が発症する。例えば、足関節が内反した場合、体の外側に移動した重心を正中位に保つために膝関節が内反し、大腿骨を内側に傾けることで調整する⁽¹⁾。一般的に膝 OA は男性に比べ女性に多い疾患とされている。しかし、健康な男女を対象に裸足で歩行した際に生じる膝関節の負荷を推定した結果によると、裸足歩行時の膝内反トルクのピークや期間に男女の性差による負荷の違いは認められなかった⁽²⁾。このことより、膝 OA は女性が好んで使用するハイヒールが発症に大きく寄与しているのではないかと推測する。ハイヒールは踵部を挙上するため、足関節が底屈位に強制され姿勢が不安定となる。このことから様々な関節部位に痛みを引き起こす可能性が高くなる。これらの関節部位などに起こる痛みなどを減少させるためにはヒール靴着用時の各関節への影響について知る必要がある。先行研究では、膝 OA の原因を、膝関節や股関節、足関節の内反外反モーメントに注目して検討していた⁽²⁾。

本研究では、先行研究で注目した軸以外のモーメントや関節可動角度を詳察することで、膝 OA を引き起こす下肢関節の運動連鎖を調べ、ハイヒール着用時の歩行改善に役立てることを目的とする。その方法として、ヒール高の違う靴を着用し歩行を行い、伸展屈曲、内反外反(足関節の場合は回内回外)、外旋内旋のすべての軸の各関節におけるモーメントや3関節可動角度を導出した。ここで、本研究で検討した3軸の動きについて、股関節の3軸の可動方向を図1⁽³⁾に足関節の3軸の可動方向を図2⁽⁴⁾に示す。

2. 先行研究における結果と考察

先行研究⁽²⁾ではヒール靴着用時にかかる膝関節の内反外反モーメントが膝 OA の原因になると考え各関節の内反外反モーメントを求めるため歩行実験を行った。実験条件として被験者は健康女性15名(年齢:23.8±4.4歳,身長:165.5±7.1cm,体重:60.9±8.7kg)で、自由歩行(被験者の通常の歩行速度)と固定速度(1.3m/s)での歩行2パターンで計測を行った。ヒールの高さ1cm, 5cm, 9cmの靴を着用し、5分以上の歩行練習をした後に床反力計を右足で踏み計測した。実験データは試行回数10回の平均値としている。結果として以下2つが示されている。①自由歩行、固定速度での歩行共に膝関節内反モーメントのピーク値がヒールの高さに比例して大きくなった。②足関節回外モーメントはヒールが高くなるにつれ増加し、股関節ではほとんど変化が見られなかった。このことから、踵の高さが増すにつれて膝関節内反モーメントが大きくなっているため、膝へ内側からの大きな負荷がかかっていると考えられる。また、踵の高さが増すにつれて足首の回内回外モーメントも増大し、それに伴い膝に大きな内側からの負荷がかかっている可能性がある。この結果から特にヒールの高い靴を身に着けている人は、膝 OA の発症の危険性が高くなると報告されている。

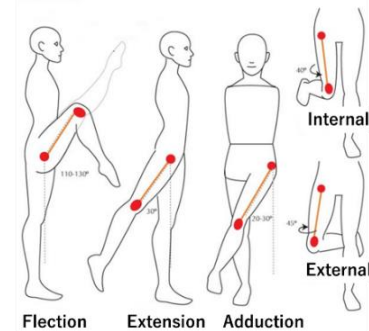


Fig. 1 Movable direction of three axes of hip joint ⁽³⁾

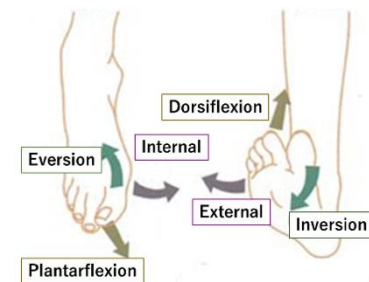


Fig. 2 Movable direction of three axes of ankle joint ⁽⁴⁾

3. ヒール靴での歩行実験

ヒールの高さの違いによる下肢関節への影響について、光学式モーションキャプチャ(以下、MC)と床反力計を用いて歩行実験により検討した。被験者は1名(年齢:22歳,身長:157cm,体重:47kg)である。先行研究と同様に自由歩行と固定速度での歩行を行った。固定速度は、メトロノームの100steps/minのテンポに合わせ歩行を行えるよう、実験前に練習を行った。市販されている、ヒール高さ(1cm, 5cm, 9.5cm)の靴(図3)を使用した。計測開始から約2秒間停止した後歩行を開始し、5歩目の右足が床反力計を踏むように歩行した。MCと床反力計で計測したデータを、Kin Tools RTを用いて解析を行った。Kin Tools RTは、マーカを体に貼り付け運動をし、MC(MotionAnalysis社製)で計測した動作データと、床反力計(テック技販社製, TF-4060C)で外力を取得し逆運動学解析により身体各関節に作用する関節トルク(関節モーメント)を計算する。

解析を行う際、遮断周波数9Hzのローパス処理を行い平滑化した。先行研究⁽²⁾では内反外反モーメントを測定していたが、本実験では伸展屈曲、内反外反(足関節の場合は回内回外)、外旋内旋のすべての軸について解析を行った。また、試行回数は自由歩行、固定速度での歩行で、それぞれ5回行った。今回の実験結果は5回の平均とする。



Fig. 3 Shoes of heel height 1, 5, and 9.5cm

4. 実験結果と考察

結果として示す各図の横軸は歩行周期とし、立脚期を100%として示している。縦軸はモーメントを体重で割り正規化している。まずは、各関節の結果と考察を示す。

・股関節

股関節内反外反モーメントの自由歩行、固定速度での歩行それぞれの結果を図4のA, Bに示す。股関節の立脚期はほぼすべてが外反モーメントであった。ヒール高さ1cm, 5cmのヒール靴ではほとんど差がなかったが自由歩行、固定速度での歩行共に歩行周期70%近くの第二ピークでは9.5cmのヒール靴が他の2つの靴に比べ外反モーメントがわずかに増大している。これは先行研究の結果と同様に、股関節内反外反モーメント股関節には大きな影響はないと考えられる。

・膝関節

膝関節内反外反モーメントの自由歩行、固定速度での歩行それぞれの結果を図4のC, Dに示す。先行研究の結果①と同様、膝関節の立脚期はほぼすべてが内反モーメントである。自由歩行、固定速度での歩行共に、全てのヒール靴で第二ピークのほうが大きくなった。自由歩行でのヒール高さ1cmの靴に比べヒール高さ9.5cmの靴での歩行は歩行周期20%近くの第一ピークは約10%、歩行周期70%近くの第二ピークでは内反モーメントが約25%増大している。

膝OAは重症度に関係なく高い第一ピークをもち、重症度が高まると立脚後期の第二ピークが増加する^⑤と報告されていることから、9.5cmのヒール靴は膝OAに大きく影響を与えていると考えられる。また、第一ピーク値から第二ピーク値までの増加率がヒールの高さの高い順になっていることから、ヒールの高さが高い方が膝OAになる可能性が高いと考えられる。

・足関節

足関節回内回外モーメントの自由歩行、固定速度での歩行それぞれの結果を図4のE, Fに示す。自由歩行、固定速度での歩行では、先行研究の結果②と同様にヒール高さ9.5cmのヒール靴では立脚期のほぼすべてが回外モーメントとなった。立脚中期半ばを比べるとヒール高さ5cmの靴はヒール高さ1cmの靴より自由歩行で回外モーメントが約73%大きく、固定速度での歩行時は回内モーメントが約72%大きくなった。

この結果について考察するため、図5に足関節の回内回外角度を、図6に圧力中心の軌跡を示す。図5より、内回外角度の結果よりヒールの高さが高いほど回内になった。図6に示した圧力中心の軌跡の座標(0,0)を床反力計に踵がついた瞬間とすると圧力中心はヒールの高さが高いほど内側(親指側)にある。このことから足関節がヒールの高さが高いほど回外モーメントが大きくなる理由としてヒールが高いと回内に力がかかりやすくそれを相殺するために回外モーメントがかかっていると考えられる。

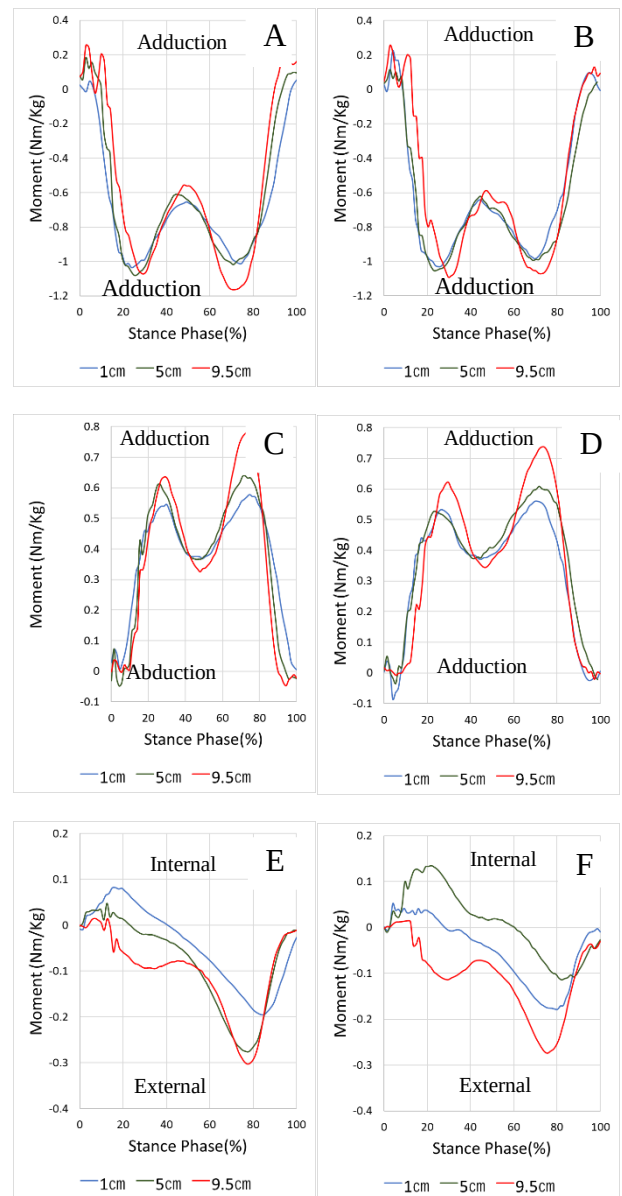


Fig. 4 Adduction/Abduction moment of each joint

- A, Hip (free walking)
- B, Hip (fixed speed)
- C, Knee (free walking)
- D, Knee (fixed speed)
- E, Ankle (free walking)
- F, Ankle (fixed speed)

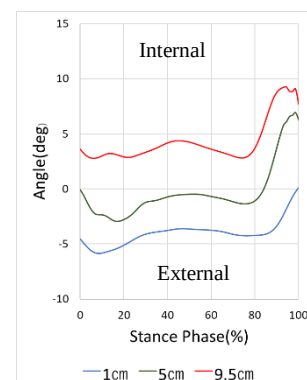


Fig. 5 Inversion/Eversion angle of ankle joint free walking

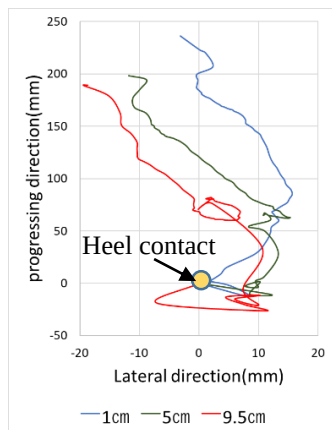


Fig.6 Position of the center of gravity

次に、先行研究では膝関節の内反モーメントに注目していたが、本研究ではヒールの高さの違いによる下肢関節の運動連鎖について検討する。

ヒールの高さ 9.5cm の靴での歩行時に、モーメントのグラフの多くで歩行周期 20% までの波形が乱れている。これは、9.5cm のヒール靴がピンヒールであったため踵接地時が不安定となり、床反力が変化したためモーメントなどにも影響が出たと考えられる。

図 7 に、右膝関節伸展屈曲角度を示す。図でヒールの高さ 9.5cm の靴での歩行のみ屈曲角度が増大している。このことからヒール靴着用により踵が拳上されることで、ヒールが高い場合、膝を曲げながら歩行していると考えられる。ヒールの高さ 1cm, 5cm のヒール靴に比べてヒールの高さ 9.5cm のヒール靴のみ立脚終期半ばまで股関節の伸展モーメント (図 8) が歩行周期 20% 近くのピーク時で約 34% 大きく、股関節の内旋モーメント (図 9) が歩行周期 30% 近くのピークを中心に増大している。このことから膝を屈曲しながら歩行することにより、立脚終期半ばまでは腰へ大きく負担がかかっていると考えられる。また、立脚終期半ばから遊脚前期において、膝関節伸展モーメント (図 10) の歩行周期 70% 近くでは、ヒールの高さ 1cm, 5cm に比べヒール高さ 9.5cm のヒール靴が、約 5 倍に増大している。このことからヒール高の高い靴を着用し歩行すると、足関節が背屈制限されることにより膝関節では伸展モーメント、足関節では回内角度が増大した。それに伴い、足関節が外旋し、股関節では伸展モーメント、内旋モーメントが増大することによって膝関節内反モーメントが生じる運動連鎖が見られた。これは、膝 OA の特徴的な下肢への負荷と類似していることから、ハイヒール靴で歩行することで、膝 OA の発症の危険性が高くなる下肢関節の特徴が明らかになった。

5. 結言

本研究では、ヒール高の異なる靴を着用し歩行を行い、伸展屈曲、内反外反、外旋内旋のすべての軸の各関節におけるモーメントや角度を導出した。その結果、1cm, 5cm のヒール靴に比べ 9.5cm のヒール靴では足関節では回内角度が、膝関節では伸展モーメント、内反モーメント、股関節では伸展モーメント、内旋モーメントが増大していた。

このことから、1cm, 5cm のヒール靴での歩行と、9.5cm のヒール靴における下肢 3 関節への影響の違いが定量的に示され、また、それらの運動連鎖が明らかとなり、ハイヒールでの歩行が膝 OA 発症に寄与する可能性があることがわかった。

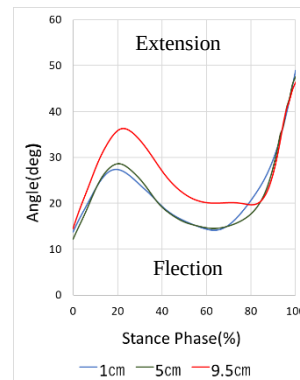


Fig. 7 Flexion/Extension angle of knee joint at free walking

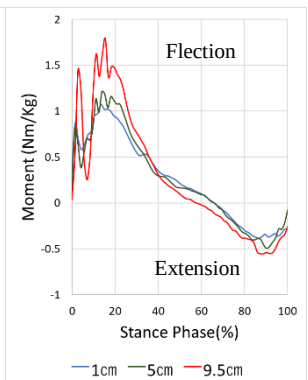


Fig. 8 Flexion/Extension moment of hip joint at free walking

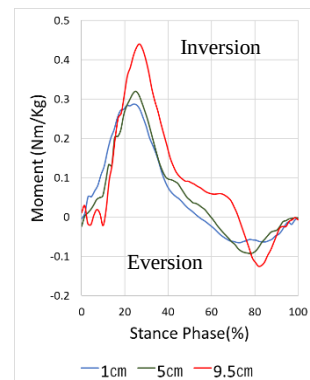


Fig. 9 Inversion/Eversion moment of hip joint at free walking

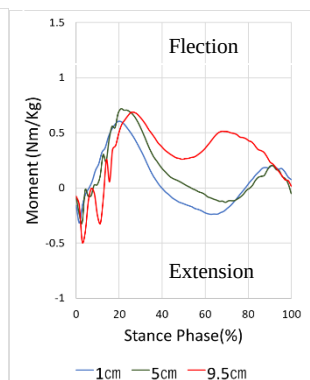


Fig. 10 Flexion/Extension moment of knee joint at free walking

文献

- (1) Rehatora 変形性膝関節症に伴う姿勢変化を運動連鎖で解説 <https://rehatora.net/> 参照日 2019.01.29
- (2) Kerrigan DC, et al. Knee joint torques: a comparison between women and men during barefoot walking. Arch Phys Med Rehabil. 2000 Sep;81(9)
- (3) 変形性股関節症と鍼灸、マッサージ治療 <http://blog.tada-sot.com/?day=20161003> 参照日 2019.01.29
- (4) 科学でカラダをガードする REGUARD http://www.alcare.co.jp/reguard/health_info/health_ankle.html 参照日 2019.01.29
- (5) Mundermann A, Dyrby COA ndriacchi TP. 2005. Secondary gait changes in patients with medial compartment knee osteOA rthritis: increased IOA d at the ankle, knee and hip during walking. Arthritis Rheum