木製はきものの形態と歩行時の下肢負担との関係について

○佐藤幸志郎(大分県産業科学技術センター), 河内まき子, 持丸正明(生命工学工業技術研究所)

Relation between wooden clog's shape and leg stress

Koushirou Satou (Oita Industrial Research Institute)

, Makiko Kouchi, Masaaki Mochimaru (Natn. Inst. of Biosci. & Human-Tech.)

1.はじめに

木製のはきものは、開放的な構成による清潔性、拘束が少ないことによる動きの自由度など、他のはきものに対する利点が数多く指摘されている。一方、素材が変形しにくいことから足部の動きに追従しにくく、はきものの歯の位置や足を固定するストラップの位置などの形態要素の設計如何で歩きやすさが大きく変わる。本研究では、形態要素を変更できる実験用はきものでの歩行を計測し、はきものの形態要素が歩行にどのような影響を与えているかを、主として立脚期の床反力、関節モーメント、関節角度から考察した。

2.方法

2-1.矢状面モデル

本研究では歩行運動の特徴があらわれる矢状面内の2次元モデルで解析を行う。下肢について、図1(a)のように中足指節関節点(以下MP関節)、足関節点、膝関節点、股関節点を考慮し、これらで連結された4節からなる2次元剛体リンクモデルと仮定する。また、はきものも図1(a)のように単純化する。A点のはきものの最前部下端、B点は静止立位時に接地している部分の先端、C点はその後端である。図1(b)の下駄も、(c)のサンダルもABCの位置関係(形態要素)が異なるバリエーションとしてとらえることができる。

図1 木製はきものの矢状面モデル

2-2.実験用はきもの

実験には、前歯と後歯を前後に動かしてB、Cの位置を変更できるような木製の2枚歯はきものを自作して用いた。

B点の位置はMP関節から1cm後方を基準とし、MP関節から2cm前方、5cm前方、8cm前方の4条件での歩行動作を比較した。なお、基準位置は、既存の木製はきものの設計条件に近いものである。C点位置及びはきもの高さについては文献に明確な基準値となる記述がなかったため、市販の長さ257mm(8

寸5分)の2枚歯のはきもののBC間の距離(130mm)、高さ(44mm)を基準値として使用し、基準値に対しC点をはきもの後端までずらしてBC間の距離を175mmにする条件の比較を行った。

はきものの足部への固定方法は、MP関節の可動を妨げないよう細い丈夫なストラップにて第一中足骨頭から第五中足骨頭までの中足指節関節上のみを固定する方法を選択した。また条件としてMP関節の可動を妨げることもできるよう足の甲の位置にも予備のストラップを用意した。

図2 実験用はきものの基準寸法(mm)

2-3.実験装置

実験用はきものの形態条件を変更したときの歩行動作を、3次元運動計測装置(Oxford Metrix社製Vicon370)とそれに連動した歩行路埋め込み型床反力計(3.6m×1.8m, 共和電業社製EFP-A型)で計測した。計測周波数は60Hzである。

2-4.被験者

被験者は健康な男性2名で行った(被験者A:身長171.6cm、体重68.5kg、年齢26才、足長26.5cm、足幅10.0cm)(被験者B:身長175.1cm、体重67.6kg、年齢31才、足長26.0cm、足幅9.5cm)。被験者には陸上競技用のピッタリとしたスウェットパンツを着用させ転子点と標点がズレないよう心がけた。

3次元計測のための標点は股関節の回転軸の目安となる「股関節点(転子点)」、膝関節の回転軸と考えられる大腿骨外側上顆の最外側に突出した点(便宜上「膝関節点」と呼ぶ)、足関節の回転軸と考えられる「足関節点(外果端点)」、MP関節の回転軸と考えられる「第5中足骨頭」の4点及びはきものの位置を知るための前端と後端から2cmの位置の2点に取り付けた。さらに今回はMP関節の正確な関節角度も観察したかったので、母趾末節骨上部にも標点を取り付けて合計7つの標点のデータを得た。

被験者には歩調や歩速を被験者の歩きやすいペースとするため「普通に歩いて下さい」という指示を与えて上記歩行路を歩かせ、同一条件につき3試行づつの実験を行った。

2-5. モーメントの計算

図1(a)のモデルで、足関節および膝関節における関節モーメントを、式(1)にしたがって計算した。ここでは、歩行運動の加速度が重力加速度に比べて小さく、特に立脚期では大きな床反力が作用し慣性項が相対的に小さくなることから、下腿および足部の慣性項を無視した。

$$M = (Py - Jy) * Fz - (Pz - Jz) * Fy \quad (1)$$

ただし、

M: 関節点まわりのモーメント

(Py, Pz): 着点位置

(Jy, Jz): 関節標点位置

(Fy, Fz): 床反力

3. 結果及び考察

以下のグラフはヒールコンタクトからトゥオフまでを表示している。グラフ中の3本の線は3試行の結果を表しており床反力鉛直成分が100Nを越えたところをヒールコンタクトと仮定し、開始位置としてタイミングをあわせてグラフ化した。

3-1. B点の位置と下肢負担の関係

はきものモデルのB点を基準位置であるMP関節の1cm後方より前に出すほど足関節底屈モーメントの最大値が大きくなる。

図3 被験者Bの足関節底屈モーメント

次にB点の位置を前後に変更した場合のMP関節角度の変化を観察すると、B点を前に出すほどトゥオフ期のMP関節の背屈が大きくなっている。

図4 被験者BのMP関節角度の変化

これらのことからB点とMP関節の水平距離は推進力の効率的な伝達や関節への負担の

面からは距離は短いMP関節より後方が良いことがわかる。

3-2. C点の位置と下肢負担の関係

被験者Aにのみ顕著に見られた傾向であるが、C点を後方にずらしBC間の距離を広げたものは足関節底屈モーメントの最大と最小のピーク値が増加している。

図5 被験者Aの足関節底屈モーメント

C点を後方に移動させると足関節モーメントの変動が大きくなりヒールコンタクトからフットフラットにかけてのブレーキに筋力が必要となりパタンパタンと分節的な歩き方となるようである。

3-3. 甲の固定の有無

甲を下駄に固定しMP関節を動きにくくしたものはフットフラット期の膝関節伸展モーメントが増加し負担が増えている。

図6 被験者Aの膝関節伸展モーメント

4. おわりに

今後、被験者と試行数を増やしデータの精度をあげることが必要であるとともに、グラフを目視で判断して相関を導くだけでなく、検定を行うなどして相関の信頼性を客観的に判断する必要があると考えている。

今回ははきもの底面を中心に考察したが他のパラメータとしてヒトと接するはきもの上面の形態も考慮する必要がある。上面の傾きや曲面の形状は歩行動作に少なからぬ影響を与えていることが予想されるからである。

謝辞

なお、実験には通産省・製品評価技術センターの運動計測設備を利用した。深甚なる謝意を表する。

参考文献

1) 三浦豊彦：足とはきもの, 42~53, 労働科学研究所, 1957