

## 靴着用時における歩行中の足甲接触圧の経時変化<sup>1</sup>

武末 慎<sup>2</sup>, LOH Ping Yeap<sup>3</sup>, 村木里志<sup>3</sup>, 濱中伸介<sup>4</sup>,  
山田敦志<sup>4</sup>, 池上功一<sup>4</sup>, 和田健希<sup>4</sup>, 古達浩史<sup>4</sup>

The main objective of this study was to identify the distribution of contact pressure on the dorsal surface of the foot during walking in shoes. Ten healthy young men (age, 22.1±0.6 years) without any walking impediments were recruited in this study. Foot measurement was performed to identify the appropriate shoe size for each participant prior to the experiment. Subsequently, FlexiForce sensors were attached to (1) the dorsal side of the first metatarsophalangeal joint, (2) the most medial side of the first interphalangeal joint, (3) the metatarsal fibulare, (4) the dorsal side of the fifth metatarsophalangeal joint, (5) the intermediate cuneiform, and (6) the pterion to measure the contact pressure during walking. In addition, foot switch sensors were used to identify the gait cycle as participants walked on the designated walkway. The contact pressure at points (1) and (6) showed distinctive increments at both heel contact and toe off. On the contrary, points (2), (3), and (4) showed decrements at the swing phase. The observed distribution of the contact pressure on the dorsal foot may be caused by the shape changes of the shoes and the foot joint movement during walking.

本研究は、靴着用時における歩行中の足甲接触圧分布の特徴を明らかにすることを目的とした。被験者は若年者男性10名であった。足部皮膚上の母趾球上面、第一趾脛側最突出点、腓側中足点、小趾球上面、第二楔状骨点および踵点に薄型圧力センサを貼り付けた状態で足部寸法計測により選定したサイズの測定靴を着用させた。約10 mの木板歩行路上を自由歩行の速度で歩行を行い、歩行動作中の足甲接触圧を測定した。母趾球上面および踵点における足甲接触圧の経時変化は踵接地時および足部蹴り出し時において静止立位時の接触圧と比較して有意に高値を示していた。また、第一趾脛側最突出点、腓側中足点および小趾球上面では遊脚期中の接触圧が静止立位時に比べ有意に低かった。荷重の受け継ぎや身体の前進に特に重要な役割を果たしている歩行相では接触圧が増加する部位が多く見られ、足部が地面から離れている遊脚期では靴設計時の隙間により接触圧が低くなる部位があった。以上のように、足と靴の歩行中の足甲接触圧の特徴を明らかにすることができた。

(キーワード：歩行、靴、フィット性、接触圧、アッパー)

### 1. はじめに

我々は、屋外で活動するときに靴を履く。靴は外的環境によるさまざまな刺激から足を保護し、歩行などの移動動作を円滑にする役割を持つ<sup>1,2)</sup>。西脇は靴に必要な設計条件機能として、クッション性・軽量性・耐久性・安定性・グリップ性・屈曲性・フィット性・通気性の8つを

挙げ、中でもフィット性はアッパーの材料や構造に依存することから、あらゆる靴に対して特に重要な機能である<sup>3~5)</sup>と述べている。また実際に使用者が靴を購入する際、最も重要視する機能はフィット性である<sup>6)</sup>という報告もある。以上のことから、設計上の要素においても、使用者の視点においても足と靴のフィット性の重要度は高いといえる。

このフィット性は、個人により異なる評価基準があり、使用者の要求が多岐にわたる<sup>4)</sup>。一般的に、静止立位時においては靴製作時の足型となる靴のラスト形状と足部形状の差が小さければ靴の足への追従性が高くなりフィット感が向上する<sup>7)</sup>。それ故、フィット性を向上させる靴を作製するためにはラスト形状の設計が重要となる。他方、静止立位時における足甲接触圧分布がフィット性

1 受付：2017年11月16日 受理：2018年4月5日

2 九州大学大学院芸術工学府

Graduate School of Design, Kyushu University

3 九州大学大学院芸術工学研究院

Faculty of Design, Kyushu University

4 株式会社

MoonStar Company

と関連があることが報告されている。高島らは、静止立位時において着用する靴の違いにより足甲接触圧に変化が生じ、着用者の感じるフィット感に差異を及ぼす<sup>8)</sup>ことを明らかにした。このことは、足甲接触圧はフィット性を定量的に評価できる指標であることを示唆している。しかしながら、足部の形状はその足部の運動により変化する<sup>9,10)</sup>。このため、静止立位時の足部形状に加えて、動作時、例えば靴を着用している時に最も多く行われる歩行の動作中に発生する足部形状の変化にも対応するアッパー構造を設計する必要がある。

靴の変形などを考慮に入れた足と靴のフィット性の評価を試みた先行研究には、野川らが定義した「嗜好を含んだフィット感」を示す評価指標と多くの足の物理量と相関が見られたという報告<sup>11)</sup>や、靴のひずみを測定してアッパーの足への追従性を評価した報告<sup>4)</sup>がある。しかしこれらの研究は、主観的な評価や靴の特徴的な形状変化時におけるフィット性の検討にとどまっており、歩行動作中の経時的に形状変化する足と靴のフィット性を捉えるまでには至っていない。Jordanらは歩行中の足甲部における圧力のピーク値が靴のアッパーでの快適性に関連がある<sup>12)</sup>ことを示した。さらに歩行中の足甲部における接触圧測定をアニメーションへ活用した研究として、圧力センサを用いて歩行中の足甲接触圧を測定し、靴の動態の仮想シミュレーションを行った報告<sup>13)</sup>がある。これらの先行研究により、足甲接触圧が歩行時の足と靴の関係性を表す一要素であり、歩行動作中のフィット性を定量的に評価できる可能性が示された。

前述のように、歩行中における足長などの足部形状の変化の影響により、静止立位時にフィットしている靴であっても歩行中にフィットしているとは限らない。歩行中のフィット性を検討するためには、経時的な足と靴の動態を定量的に明らかにし、両者の動的関係性を理解する必要がある。しかしながら、歩行中の足甲接触圧を測定し歩行動作との関連を検討した研究はみられない。靴着用時における歩行中の足甲接触圧の経時変化を立位静止時と比較することにより、歩行中のどのタイミングにおいて足と靴のアッパー部が接触するのかといった、歩行中における足と靴の接触の特徴を理解することができる。さらに靴の開発においてフィット性の向上を目指した設計要件の検討への応用が期待される。

そこで本研究では、足部に貼付した状態で靴を着用した際でも、足部への圧迫が小さく歩行動作への影響が少ない薄型圧力センサを用いて、靴着用時における歩行中の足甲接触圧分布の経時的な特徴を明らかにすることを目的とした。なお、本研究では老若男女を問わず利用率

が高いウォーキングシューズを対象とした。ウォーキングシューズは他の種類の靴よりもフィット性がより重視された設計になっている。ウォーキングシューズで認められる接触圧の増加は他の靴でも同様に認められる可能性が高く、知見の汎用性にとっても望ましいと考えた。

## 2. 方法

### 2-1. 被験者

被験者は健康で歩行に支障をきたす既往のない若年者男性10名とした。あらかじめChapmanらの利き足テスト<sup>14)</sup>を用い、被験者全員の利き足が右脚であることを確認した。倫理的配慮として、被験者には実験の趣旨、研究参加に際して保障される権利等について文書および口頭で説明し、実験参加への同意を得た。なお、本研究は九州大学大学院芸術工学研究院実験倫理委員会の承認(承認番号56)を得ている。

### 2-2. 実験手順

実験は10mの直線歩行路が確保できる実験室内にて実施した。実験室の床面上には幅0.4m、全長10mの水平な木板歩行路を配置した。被験者には、測定靴(2-3.参照)を着用させ、10mの距離を歩行する課題を行わせた。歩行中はまっすぐ前を見て歩くように指示した。歩行速度条件は自由歩行とし、被験者が普段通りに歩く速度とした。歩行課題前に被験者へ「いつもどおりの速さでまっすぐ前を向いて歩いてください」と教示した。

実験はまず被験者の身体計測および足部寸法計測を行った。そして、足部にFlexiForce<sup>®</sup>ボタンセンサ(2-4-3.参照)を貼り付けた状態で、靴下によるクッション性や着圧の影響を排除するために被験者には靴下を着用させずに、足部寸法計測の結果よりサイズを決定した測定靴を着用させた。靴内部で足が動かないように、被験者が履きやすいと感じる程度の締めつけ具合で靴紐を用いて固定させた。次に、被験者には実験環境や測定靴に慣れ、普段通りの歩行ができるようになるまで歩行路上を繰り返し往復する歩行練習を5~10分程度行わせた。その後、5分程度の休憩を取り、歩行課題を行わせた。歩行動作の測定は5回繰り返し行った。また、歩行動作の前後にそれぞれ5秒間の静止立位時における足甲接触圧を測定した。この時、足を肩幅程度に開き足部の踵と第二趾を結ぶ線が矢状面に対し平行になるように指示した。

### 2-3. 靴条件

靴の素材や形状の影響を排除するため、統一した測定靴を使用した。測定靴には、(株)ムーンスター製のウォーキングシューズ (WM3087, ウィズ4E, 表記サイズ26.0 cm)における片足重量360 g, 紐靴タイプ, 図1)を使用した。

### 2-4. 測定項目

#### 2-4-1. 足部寸法計測

足部寸法の計測はすべて右足で行った。足部寸法計測により、①足長 [cm], ②足幅 [cm], ③足囲 [cm], ④インステップ囲 [cm], ⑤足高 [cm], ⑥第一趾高 [cm], ⑦外果端高 [cm], ⑧第一趾側角度 [deg] および⑨第五趾側角度 [deg] を計測・算出した (図2)。足長および足幅は、桿状計を用いて計測した。足囲およびインステップ囲は巻尺を用いて計測した。足高, 第一趾高および外果端高はアントロポメータを用いて計測した。第一趾および第五趾側角度は、脛側および腓側中足点を通り足底縦軸線と平行な直線と脛側および腓側中足点と第一



図1 測定靴  
Fig. 1 Experimental shoes.

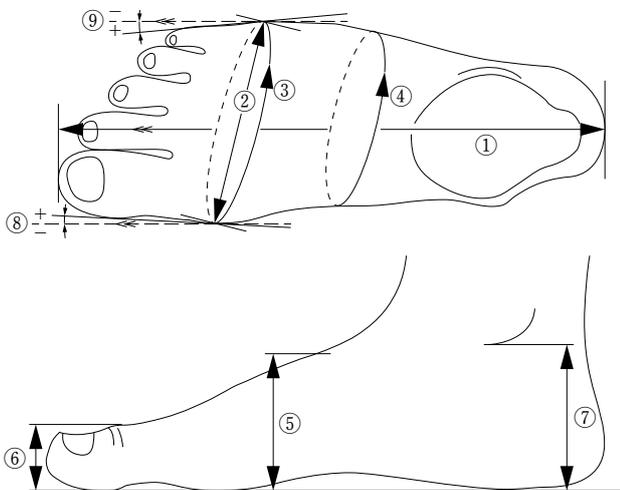


図2 足部寸法計測  
Fig. 2 Measurement contents of the foot part.

趾脛側および第五趾腓側最突出点を結ぶ直線がなす角度を求めた。このとき、脛側および腓側中足点と第一趾脛側, 第五趾腓側最突出点を結ぶ直線が足底縦軸線に対する平行線よりも足部中央側にくる場合の角度を正の値とした。計測で得た足長, 足幅および足囲の結果からJIS S 5037-1998「靴のサイズ」<sup>15)</sup>の付表を用い, 各被験者の靴の適正サイズを確認した。

#### 2-4-2. 歩行指標

歩行周期を算出するために、測定靴の底面 (踵部, 前足部) に貼付したフットスイッチ (DKH社製, 荷重スイッチPH-463, センサ直径12 mm) を用いて、踵接地およびつま先離地のタイミングを検出した。フットスイッチからの信号は、4ch FSアンプ (DKH社製, PH-450) を介し, 端子台 (CONTEC社製, ATP-32F), シールドケーブル (CONTEC社製, ADC-68M/96F), アナログ入出力カード (CONTEC社製, ADA16-32/2 (CB) F) を接続した収録ソフトウェアVitalRecorder2 (キッセイコムテック(株)社製) を用いてサンプリング周波数1kHzにて記録した。一歩行周期は右脚踵接地を0%, 次の右脚踵接地を100%とし, 正規化した (以下, 一歩行周期をGC: Gait Cycle)。これにより, 歩行周期 [s], 歩調 [steps/min], 遊脚期, 立脚期および両脚支持期が一歩行周期中に占める割合 [%] を計測・算出した。5試行分の測定値の平均値を算出した。歩行周期は一歩行周期に要する時間, 歩調は単位時間内の歩数である。

#### 2-4-3. 接触圧

厚さ0.2 mmと薄く, 足部に貼付した状態で靴を着用した時に大きな圧迫がなく歩行動作への影響が少ないFlexiForce<sup>®</sup>ボタンセンサ (Tekscan社, A201-1, 以下, FFセンサ, 図3) を用いて, 歩行動作中の足甲接触圧を計測した。FFセンサの測定範囲は最大4.4 Nであり, 感圧範囲はセンサ先端部の直径9.5 mmの円形である。FFセンサか

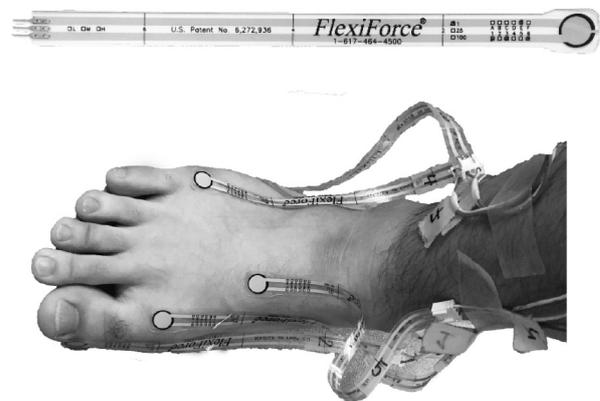


図3 FlexiForce<sup>®</sup>ボタンセンサの貼付例  
Fig. 3 Placement of a FlexiForce sensor.

らの信号は、amp boxシリーズ（ニッタ株式会社製）の1つのマザーボックスとチャンネル数を増やすための2つの拡張ボックスを介し、前節のフットスイッチの信号と同様の端子台、シールドケーブル、アナログ入出力カードを接続した収録ソフトウェアVitalRecorder2を用いてサンプリング周波数1kHzにて記録し、歩行指標のデータと同期させた。

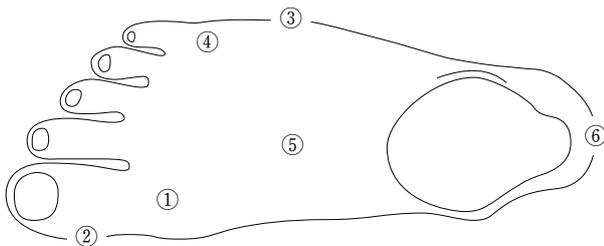
FFセンサには直線性があるが、センサによりそれぞれ特性が異なるため、使用したセンサに対してそれぞれキャリブレーションを行った。キャリブレーションには、重さが既知の錘を用い、FFセンサの感圧部のみ荷重がかかるように円形に切り出した木片を載せ、その上に、50～550gまで11種類の重さが異なる錘を負荷した時の電圧値に、無荷重時の電圧値を加えた12項目に対する電圧値の平均値を用いて線形回帰を行った。

記録したFFセンサ信号の導出には、解析ソフトウェアKineAnalyzer（キッセイコムテック株式会社製）を用いた。それぞれの結果に10Hzのローパスフィルタを適応してあらかじめノイズを除去した後に、歩行周期により正規化を行い、一歩行周期5試行分のデータを平均化し、それらの値を接触圧の経時変化の代表値とした。

FFセンサの貼り付け部位は、①母趾球上面、②第一趾脛側最突出点、③腓側中足点、④小趾球上面、⑤第二楔状骨点および⑥踵点とし、足甲接触圧 [kPa] の経時変化を計測・算出した。足甲接触圧の測定部位は触診により選定した。FFセンサの貼付例を図3に、足甲接触圧の測定部位を図4に示す。

### 2-5. 統計処理

各部位における接触圧の経時変化については、一歩行周期を5%GCごとの区間へと分類した。0～5%GC, 5～10%GC, …, 95～100%GCのように合計20区間における接触圧の平均値を各区間の代表値とした。歩行動作中の接触圧の変化を検討するために、各歩行動作タイミングの接触圧の代表値および静止立位時の接触圧の比較を



①母趾球上面、②第一趾脛側最突出点、③腓側中足点、④小趾球上面、⑤第二楔状骨点、⑥踵点

図4 足甲接触圧の測定部位

Fig. 4 Landmarks for the contact pressure sensors.

行った。

すべての接触圧の結果に対して正規性が認められたため対応のあるt検定を用い、各歩行周期中の接触圧と静止立位時の接触圧の比較を行った。すべての統計解析にはSPSS Statistics Version 21 for Windows (IBM)を用い、有意水準を5%未満とした。

## 3. 結果

### 3-1. 身体特性および足部寸法計測

被験者の身体特性および足部寸法計測の平均値と標準偏差を表1に示す。足長、足幅および足囲の結果から決定した使用する測定靴のサイズとその人数は、25.5cmが4名、26.0cmが3名、26.5cmが3名であった。

### 3-2. 歩行指標

歩行指標の平均値および標準偏差の値を表2に示す。歩調および立脚期割合は、成人男性の標準的な歩調(111 steps/min<sup>16</sup>)、一般的な立脚期割合(60%<sup>17</sup>)および

表1 被験者の身体特性および足部寸法

Tab. 1 Physical and anthropometric characteristics of the participants.

|                          | 平均値   | 標準偏差 |
|--------------------------|-------|------|
| 年齢 [歳]                   | 22.1  | 0.6  |
| 身長 [cm]                  | 174.2 | 4.7  |
| 体重 [kg]                  | 66.6  | 8.8  |
| BMI [kg/m <sup>2</sup> ] | 22.0  | 3.0  |
| 大転子高 [cm]                | 86.8  | 3.8  |
| 足長 [cm]                  | 25.6  | 0.5  |
| 足幅 [cm]                  | 10.4  | 0.3  |
| 足囲 [cm]                  | 24.7  | 0.7  |
| インステップ囲 [cm]             | 24.6  | 0.8  |
| 足高 [cm]                  | 6.1   | 0.5  |
| 第一趾高 [cm]                | 2.0   | 0.3  |
| 外果端高 [cm]                | 6.7   | 0.4  |
| 第一趾側角度 [deg]             | -0.2  | 5.3  |
| 第五趾側角度 [deg]             | 4.4   | 3.9  |

表2 歩行指標の結果

Tab. 2 Gait cycle index results.

|                | 平均値   | 標準偏差 |
|----------------|-------|------|
| 歩行周期 [s]       | 1.2   | 0.1  |
| 歩調 [steps/min] | 102.5 | 8.2  |
| 立脚期割合 [%]      | 58.1  | 1.8  |
| 遊脚期割合 [%]      | 41.9  | 1.8  |
| 両脚支持期割合 [%]    | 7.6   | 2.0  |

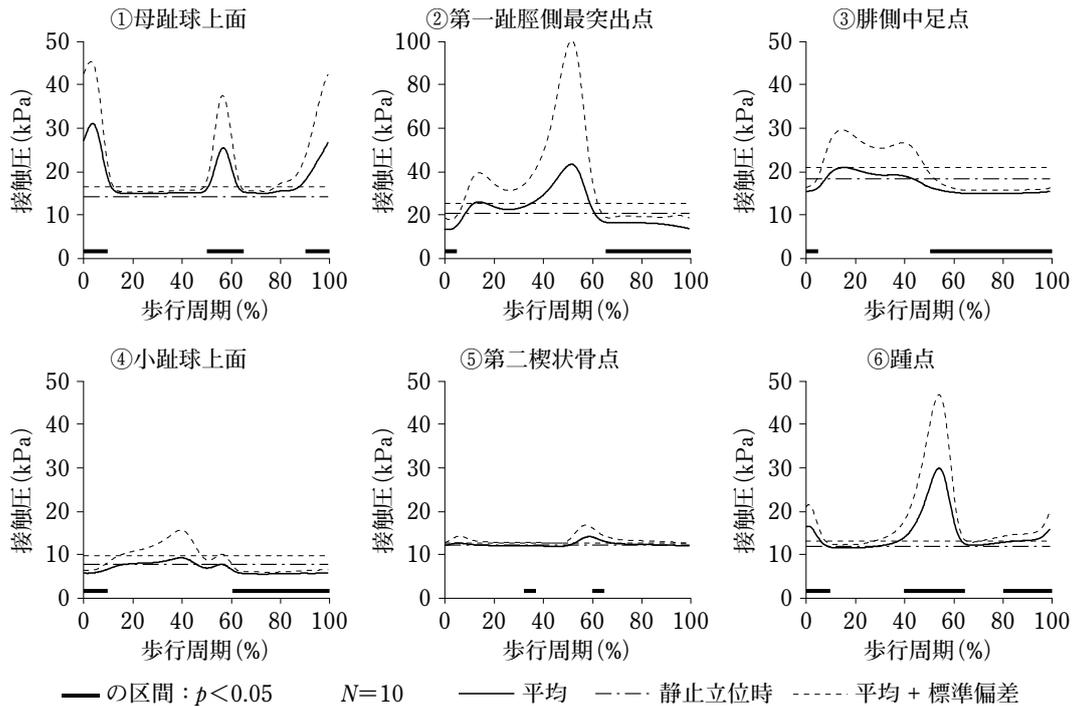


図5 接触圧の経時変化

Fig. 5 Distribution of contact pressure.

び両脚支持期割合（10%<sup>17)</sup>）よりも低い値を示した。

### 3.3. 接触圧

①母趾球上面、②第一趾脛側最突出点、③腓側中足点、④小趾球上面、⑤第二楔状骨点および⑥踵点における接触圧の経時変化の平均値（実線）とその標準偏差（破線）および静止立位時における接触圧の平均値（一点鎖線）を図5に示す。各測定部位に対して歩行動作中の各区間における接触圧と静止立位時の接触圧を比較し、有意差が認められた区間を、図中下部に黒太線で示した。

①母趾球上面では、歩行周期の0～10%GCおよび50～65%GC、90～100%GCにおいて静止立位時に比べ有意に接触圧の増加が見られた。また歩行周期中は静止立位時に比べ、常に高い接触圧を示した。②第一趾脛側最突出点では、0～5%GCおよび65～100%GCの間における接触圧が静止立位時の接触圧に比べて有意に低い値を示した。③腓側中足点では、0～5%GCおよび50～100%GCの間における接触圧が静止立位時の接触圧に比べて有意に低い値を示した。④小趾球上面では、0～10%GCおよび60～100%GCの間における接触圧が静止立位時の接触圧に比べて有意に低い値を示した。⑤第二楔状骨点においては、30～35%GC間の接触圧が静止立位時の接触圧に比べて有意に低い値を示した。また、60～65%GCのタイミングにおける接触圧が静止立位時の接触圧に比べて有意に高い値を示した。⑥踵点においては、0

～10%GCおよび40～65%GC、80～100%GCの間における接触圧が静止立位時の接触圧に比べて有意に高い値を示した。

以上のことから、①母趾球上面および⑥踵点において歩行周期中の踵が接地する期間（0～10%GC）、足部蹴り出しのタイミング（50～60%GC）および遊脚後期（80～100%GC）の期間で接触圧の増加が見られたことが分かる。また、②第一趾脛側最突出点、③腓側中足点および④小趾球上面においては、踵接地（0～10%GC）および遊脚期（60～100%GC）の期間で静止立位時に比べ接触圧が低下していることが分かった。

### 4. 考 察

0～10%GCの間では、①母趾球上面および⑥踵点において有意な接触圧の増加が見られた。一方で、②第一趾脛側最突出点、③腓側中足点および④小趾球上面では静止立位時の接触圧に比べ有意に低下していた。0～10%GCは歩行周期の中で身体重量が前方の下肢に移されるタイミングである。この期間において、足部と靴では異なる回転運動を行うことが考えられる。足部接地の機序として、まず踵点の後方縁が接地し、その後急速に前方回転して踵の中心が接地する<sup>18,19)</sup>。この時、踵がロッカーの役目を果たすことで身体のかなめらかな前進が可能となり、足部では、前脛骨筋および長趾伸筋の強力な遠

心性筋収縮により体重ベクトルに対する背屈モーメントが発生する<sup>17)</sup>。そのため、足関節の底屈運動は抑制されると考えられている。一方、靴にはこの背屈方向へのモーメントが発生しないため底屈方向へ制御されない回転運動を行おうとする。これにより、0~10%GCの期間における足関節の底屈方向への回転運動と靴の回転運動との間に差が生じ、母趾球上面において接触圧が増加したと示唆される。また、この期間中に足部は内返しの運動を行う。しかしながら靴はこの足部の運動に対応できなかったために①母趾球上面で接触圧が増加したのに対して④小趾球上面においては、接触圧が低下したのではないかと考えられる。

一方で、0~10%GCにかけて床反力の強度が体重の約50~125%に及ぶ<sup>20)</sup>ため、踵点ではこの期間において接触圧が静止立位時に比べて大きく増加すると予想された。しかし、実際は足部接地の期間における踵点での接触圧は静止立位時に比べ有意に増加はしているが、蹴り出しの期間における接触圧の増加と比較して大きな接触圧の増加は見られなかった。これは、初期接地において支持面が踵しかない状態で急速に体重が前方の下肢に移動することによって生じる一過性現象<sup>21)</sup>、およびヒールロッカー機能<sup>17)</sup>による踵点を支点とした回転が瞬時に行われたために、踵部への接触圧増加の軽減が生じたためではないかと推測される。同時に、運動靴では靴の変形により靴が接地するソール部分での踵部において運動エネルギーが吸収される<sup>22)</sup>ため、足部にかかる荷重が靴によって踵点だけでなく足部全体に分散されたのではないかと考えられる。また、0~10%GCの期間には踵部で足部接地を行うため前足部には荷重がかからない。これにより足部寸法が小さくなり、②第一趾脛側最突出点および③腓側中足点では接触圧が低下したと考えることができる。

50~65%GCの期間では①母趾球上面、⑤第二楔状骨点および⑥踵点において接触圧の有意な増加が見られた。この期間はしばしば蹴り出しとも呼ばれ、足趾はまだ床に接しているが、荷重が反対脚へと受け継がれることで、身体の前進に大きく貢献する役割を果たしている<sup>16,17)</sup>。このとき足部では中足趾節関節の背屈に伴い、靴が屈曲しアップー構造が変形し湾曲したために靴の構造が変化し、①母趾球上面を圧迫することで、接触圧が増加したと考えられる。また、足部蹴り出しの期間において足関節は底屈し膝関節は屈曲することで足部は前進しようとする。しかし、踵の拳上により足中足趾節関節の背屈に伴い屈曲した靴のソール部には弾性力が働き元の形に戻ろうとする。そのため、足部および靴はそれぞれ反対方向に運動を行うことで⑤第二楔状骨点および⑥踵点の接

表3 靴の適正サイズおよびウィズ

Tab. 3 Appropriate shoe size and width for each participant.

| 人数(N=10)<br>サイズ[cm] | ウィズ |    |    |    |
|---------------------|-----|----|----|----|
|                     | E   | 2E | 3E | 4E |
| 25.5                | 2   | 1  | 0  | 1  |
| 26.0                | 1   | 1  | 1  | 0  |
| 26.5                | 1   | 2  | 0  | 0  |

触圧が増加したと推察できる。

遊脚期中では②第一趾脛側最突出点、③腓側中足点および④小趾球上面において静止立位時の接触圧に比べて有意に低い値を示した。これは、遊脚期は足部が持ち上げられ空中にある期間であるため、足部への荷重が静止立位時よりも小さくなる。このため、足部寸法が小さくなることで、靴の設計上ゆとり寸法を設けている足趾部<sup>2)</sup>において接触圧が低くなったと考えられる。また、遊脚期中の接触圧が静止立位時に比べて低い値を示した理由として、足の形状と靴の形状との差が関係していると考えられる。表3は足部寸法計測の結果から、JIS S 5037-1998「靴のサイズ」<sup>15)</sup>により求めた足の計測値に対する靴の適正サイズおよびウィズの内訳を示した表である。被験者の適正ウィズは、Eの者が4名、2Eの者が4名、3Eの者が1名、4Eの者が1名であった。本研究において使用した測定靴はウィズが4Eであるワイド設計の靴であったが、表3のように本研究に参加した被験者は足が細く、適正ウィズがEや2Eであった者が多かったために、足部側面である②第一趾脛側最突出点や③腓側中足点においては静止立位時に比べ接触圧が低くなったのではないかと推察できる。また、②第一趾脛側最突出点においては、第一趾側角度が負の値を示した被験者が多く、第一趾が足部の外側に向いている足部形状になっており、他の部位よりも接触圧が大きくなり、またばらつきも大きくなったのではないかと考えられる。

以上のことから、①母趾球上面や⑥踵点といった部位は、足甲部において靴ずれが起りやすい箇所<sup>5)</sup>であり、歩行中に足と靴の接触が発生していると考えられる。このような部位では、歩行周期における身体の前進や荷重の受け継ぎに重要な役割を持つ歩行相において静止立位時に比べ、歩行動作中の足甲接触圧が増加することが示された。また、足部が地面から離れる遊脚期では足趾部や足部側面において靴との間に隙間が生じ、静止立位時に比べ接触圧が低下する部位が多くなったことが示唆された。

## 5. おわりに

本研究では、FlexiForce<sup>®</sup>ボタンセンサを用いることで

歩行中の足甲接触圧を測定した。その結果、荷重の受け継ぎや下肢の前進に重要な役割を持つ相において、接触圧の増加が起りやすいということが示唆された。また、遊脚期中においては、足部の側面や足趾部で静止立位時に比べて接触圧が低下することが示された。このように本研究では、フィット性の向上を目指した靴の開発の基礎となる歩行動作中の足甲各部位における接触圧の経時変化の特徴を提示できたと考えられる。

しかし、本研究では1種類の靴のみを対象としたため、得られた知見は類似した仕様の靴に限定される。靴の種類だけでなく、同じウォーキングシューズであってもアッパー構造や素材が異なれば、異なった足甲接触圧を示す可能性がある。また本研究の結果では接触圧のばらつきが大きく、足の長さ、幅、高さなどの足部形状の個人差が結果に影響したと考えられる。さらに靴の種類を一つに限定したため、着用者の主観的なフィット性までは詳しく追求できなかった。今後は被験者数を増やし、歩行動作中の接触圧の経時変化に影響を与える足部形状や靴の仕様を着用者の主観的なフィット性も含めながら検討していく。

## 利益相反

本研究は、九州大学と㈱ムーンスターとの共同研究によってなされた。

## 参考文献

- 1) 音成陽子, 笠原成元: 靴と足のサイズに対する認識: 男女の比較, 流通科学研究, 6, 33-39, 2006
- 2) 大塚斌: 快適な靴とは, 繊維製品消費科学, 36, 673-679, 1995
- 3) 西脇剛史: スポーツシューズの要求機能と使用素材, 繊維学会誌, 65, 150-153, 2009
- 4) 西脇剛史: フィット性向上を目指したスポーツシューズ設計, 繊維学会誌, 64, 178-183, 2008
- 5) 西脇剛史(監修), アシックススポーツ工学研究所(編著): 足と靴の科学, 日刊工業新聞社, 東京, 62-65, 2013
- 6) 松村浩貴: ランニングシューズの購買決定要因について, 人文論集, 49, 87-99, 2014
- 7) Menz HB, Auhl M, et al: Evaluation of the accuracy of shoe fitting in older people using three-dimensional foot scanning, Journal of Foot and Ankle Research, 7, 3, 2014
- 8) 高島慎吾, 仲谷政剛, 他: アッパー/足甲の接触圧分布に基づくフィット性に関する一考察, シンポジウム: スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス講演論文集, A-22:1-8, 2014
- 9) Stolwijk NM, Koenraadt KLM, et al: Foot lengthening and shortening during gait: A parameter to investigate foot function?, Gait and Posture, 39, 773-777, 2014

- 10) 杉本史朗, 原田一: 足の動作に伴う足と靴の足長変化に関する研究, 人間工学, 42, S412-S413, 2006
- 11) 野川英剛, 宇治橋貞幸, 他: ランニング・シューズのサイズ選びにおける心理物理的決定要因, ジョイント・シンポジウム講演論文集, 199-202, 2003
- 12) Jordan C, Bartlett R: Pressure distribution and perceived comfort in casual footwear, Gait and Posture, 3, 215-220, 1995
- 13) Rupérez MJ, Monserrat C, et al: A study of the viability of obtaining a generic animation of the foot while walking for the virtual testing of footwear using dorsal pressures, Journal of Biomechanics, 42, 2040-2046, 2009
- 14) Chapman JP, Chapman LJ, et al: The measurement of foot preference, Neuropsychologia, 25, 579-584, 1987
- 15) 日本工業規格: JIS S 5037:1998 靴のサイズ, 1998
- 16) Kirsten GN: 観察による歩行分析, 月城慶一, 山本澄子, 他(訳), 医学書院, 東京, 9-15, 2005
- 17) Perry J, Burnfield JM: ベリー歩行分析: 正常歩行と異常歩行, 武田功, 弓岡光徳, 他(訳), 医歯薬出版, 東京, 47-48, 2012
- 18) Barnett CH: The phases of human gait, The Lancet, 268, 617-621, 1956
- 19) Soames RW: Foot pressure patterns during gait, Journal of Biomedical Engineering, 7, 120-126, 1985
- 20) Simon SR, Paul IL, et al: Peak dynamic force in human gait, Journal of Biomechanics, 14, 817-819, 821-822, 1981
- 21) Whittle MW: Generation and attenuation of transient impulsive forces beneath the foot: A review, Gait and Posture, 10, 264-275, 1999
- 22) 江原義弘, 別府政敏, 他: 靴の踵によるエネルギー吸収量の計算, バイオメカニズム学会誌, 26, 27-31, 2002

## 著者情報



**武末慎(たけすえしん, 学生会員, 連絡著者)**  
2017年3月九州大学芸術工学部卒。同大学大学院芸術工学府芸術工学専攻デザイン人間科学コース在学中。  
連絡先: s.takesue0412@gmail.com

## LOH Ping Yeap (ローピンヤップ, 正会員)

2017年3月九州大学大学院芸術工学府博士後期課程修了。博士(工学)。2017年9月より、九州大学大学院芸術工学府デザイン人間科学部門助教。

## 村木里志(むらきさとし, 正会員)

広島大学大学院生物圏科学研究科博士課程後期修了。博士(学術)。県立長崎シーボルト大学(現長崎県立大学)を経て、2003年より九州大学大学院芸術工学府デザイン人間科学部門准教授。2016年より教授。

## 古達浩史(ふるたちひろし)

1988年長崎大学工学部卒。同年、月星化成(現㈱ムーンスター)入社。工場・技術・品証担当執行役員。