

## 靴及び歩容の違いが足に与える剪断力・圧力の影響の検討

## — 糖尿病足潰瘍予防の観点から —

## Effects of the difference of shoes and gait on the shear stresses and pressure distribution

## - From the viewpoint of diabetes foot ulcer prevention -

○高野学 野口博史 大江真琴 真田弘美 森武俊 (東大)

Manabu TAKANO, Hiroshi NOGUCHI, Makoto OE, Hiromi SANADA and Taketoshi MORI, University of Tokyo

**Abstract:** Diabetic foot ulcer (DFU) is the serious complications of diabetes. High plantar pressure and high shear stress are major risk factors for DFU. It is important to measure the shear stresses and the plantar pressures during walking for prevention of DFU. But it is difficult to measure the shear stresses on the plantar directly. In our laboratory, we developed a method to measure the shear stresses and the plantar pressures under various footwear conditions. In this study, using the system, we examined the changes of the values of the shear stresses and the plantar pressures caused by the difference of the shoes or gaits. Walking with the usually wearing shoes is similar to the barefoot walking. But the other footwear increases the shear stresses and the plantar pressure. The footwear also changes the difference the shear stresses and the plantar pressure between the left and right foot. This system may contribute to the development or the evaluation of the footwear's shear stresses reduction for the prevention of DFU.

**Key Words:** Shear Force, Plantar Pressure, Footwear, In-shoe Measurement, Diabetic Foot

## 1. 序論

スポーツ分野やリハビリテーションの領域において、古くから様々な歩行計測が行われ、モーションセンサやフォースプレートを用いたものが代表的である。一方で看護領域では、例えば糖尿病足潰瘍予防の観点から、足底にかかる圧力ならびにせん断力の測定が試みられている。

糖尿病足潰瘍の原因となり得る、胼胝(たこ)の形成には皮膚の局所に高い圧力やせん断力がかかることが関連していると考えられている<sup>(1)</sup>。最大せん断力や最大圧の高値が知られている糖尿病神経障害の患者<sup>(2)(3)</sup>の足底に対し、フットウェアをはじめとする、せん断力や圧力を軽減する介入が重要視されている。しかしながら、リスクを同定するうえで、患者の日常生活時、すなわち患者が普段履いている靴で歩行した際のせん断力・圧力の直接的な測定方法は知られていない。また、不適切な靴の選択が潰瘍のリスクであることが知られており<sup>(4)</sup>、様々な靴内に生じる、せん断力、圧力の測定は非常に重要である。当研究室では以前、測定用のサンダルを用いて歩行中の足底のせん断力・圧力を同時測定する方法を開発した<sup>(5)(6)</sup>。また最近の研究において、その方法を改良し、シート状のセンサを足と一体化させることで靴内での測定を可能にするシステムを開発するとともにその計測の妥当性を検証した<sup>(7)</sup>。

足底にかかるせん断力や圧力は靴や個人の歩容の違いによって異なることが予想される。本研究では、歩容の異なる2名の被験者がフットウェアの条件を変えて歩行した際の足底の最大圧・総荷重ならびにせん断力に着目し、靴及び歩容の違いが足に与える影響について検討を行った。

## 2. せん断力・圧力の測定システムの概要

## 2-1 靴内で足底にかかるせん断力・圧力の測定システム

本研究で用いたシステムの概要を図1に示す。せん断力センサ(有限会社 計測サポート)を埋め込んだ薄く柔らかいシートを足と一体化させることにより、足底により近い場所での測定が可能となっている。圧力の分布はFScanシステム(ニッタ株式会社)を用い、FScanシート(厚さ約0.2mm)を靴本来のインソールの下に敷くことにより測定

を行っている。このFScanシートの使用法は多くの歩行計測でも行われている、信頼性・妥当性の示された方法である。



Fig.1. Overview of the system

また、これらの機器はフットウェアから独立しているため、靴下、インソール、靴などを変更しても、足底にかかるせん断力や圧力を測定することが可能である。

## 2-2 せん断力センサを埋め込んだシート

せん断力センサを埋め込んだシートの概観ならびに足底に固定した様子を図2に示す。

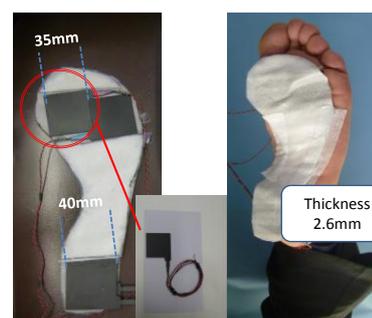


Fig.2. Overview of the shear stress sensor and the sheet

センサ以外のシート部分はポリエチレンで作成し、セン

サによる段差が生じないように3枚重ねることで、全体の厚みが2.6mm以内におさまるようにした。中足骨部に1軸のせん断力センサ(35mm×35mm、厚さ約1.2mm)が2つ、踵部に2軸のセンサ(40mm×40mm、厚さ約2.5mm)が1つ配置されている。

### 3. データ収集ならびに測定の概要

#### 3-1 計測条件

健康な成人男性2名(以下被験者A、B)を測定の対象とした。普段自身が歩いている速度で約20mの歩行を各条件で5回ずつ行った。歩行と歩行の間は3分以上の休憩を挟んだ。歩行開始からの3歩を除いた次の8歩(左右4歩ずつ)を分析に用いた。すなわち、左右の足でそれぞれ4歩×5回=20歩のデータとなる。解析にはMATLAB 2012a(Math Works)を用いた。

#### 3-2 立脚期の正規化とパラメータ

解析においては、立脚期時間における圧力分布内の最大値(Peak Pressure)ならびに総荷重値(Total Load)、第一中足骨骨頭部のせん断力センサの値を比較した。本研究では、3つのせん断力センサのうち、潰瘍の好発部位であり、踏切時に特に高い値をとることが知られている第一中足骨骨頭部のセンサの値を比較した。1立脚期は総荷重の値をもとに、踵の荷重がかかり始めた点からつま先の荷重が無くなるまでの期間を切り出し、0-100%で正規化した。

#### 3-3 測定に用いた靴の概要

今回測定に用いた靴の外観を図3に示す。被験者Aの普段履きなれている靴は革靴で、被験者Bの普段履きなれている靴はブーツ型の靴である。すなわち被験者Aにとってブーツ型の靴は履きなれていない靴であり、被験者Bにとって革靴は履きなれていない靴である。2人の被験者の普段の靴のサイズは同じ(27.5cm)であり、いずれの場合も履きにくさや歩きづらさといった訴えは見られなかった。

それぞれの靴底の摩耗の仕方が、被験者Aの革靴では内側向きであり、被験者Bのブーツでは外側向きであることから、被験者2人が普段履いている靴で歩行した際の歩容は異なるものと考えられる。



Fig.3. Characteristics of the Footwear

## 4. 結果

#### 4-1 フットウェアを着用しない裸足時の歩行の特徴

まず、それぞれの被験者において、靴を履いていない状態での歩容の違いがあるかどうかを確認するため、当研究室の先行研究で用いた方法<sup>(5)(6)</sup>を用いて被験者A、Bの裸

足歩行時の測定を行った。既存システムの概要は図4の通りである。

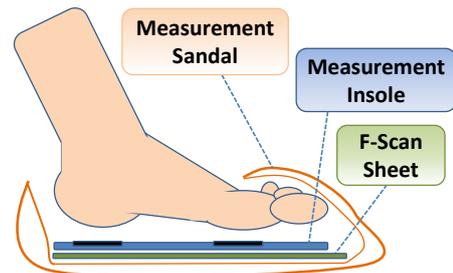


Fig.4. Overview of the Previous System

先行研究のシステムでは測定用のサンダルの底面にFScanシートを敷き、その上にせん断力センサを埋め込んだ厚さ約7mmの測定用のインソールを敷き、裸足でこのフットウェアを着用する。この方法が裸足時の歩行とみなせることは既に示されている。このシステムを用いて測定した被験者A、Bの最大圧(上)、総荷重(中)、せん断力(下)を図5に示す。

20歩の平均を実線で示し、±SDの領域を点線で示している。緑色の線が左足、紫色の線が右足である。

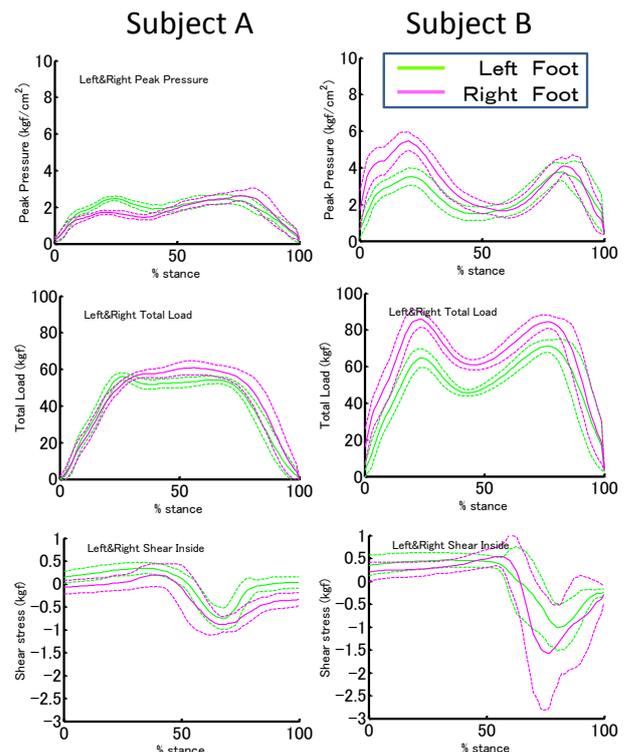


Fig 5. Barefoot Gait Features

裸足時の歩行はフットウェアの影響が無い条件下での個人の歩容の特徴を表していると考えられる。

被験者A、BではBの方が体重は重く(被験者A65kg、被験者B85kg)、総荷重の値は体重を反映しているものと思われるが、被験者Aでは比較的左右の足でプロファイルが近かったのに対し、被験者Bでは左右の差が顕著に見られるなど、歩容に起因すると思われる特徴が見られた。

また、被験者Bでは最大圧のグラフに見られるように、踵接地期並びに踏切期に高い圧がかかっており、特に右足で高く、せん断力に関しても同様の傾向が伺える。

#### 4-2 普段履いている靴を履いた際の裸足時との変化

裸足時と比べ、普段履きなれている靴を履いた際に最大圧、総荷重、せん断力がどう変化するかを検証するため、被験者Aは革靴で、被験者Bはブーツでそれぞれ測定を行った。

被験者Aが普段履いている靴(革靴)ならびに本研究のシステムを用いて測定した結果を図6に示す。左が普段履いている革靴歩行時の最大圧、総荷重、せん断力であり、右は図5で示した裸足歩行時のものである。

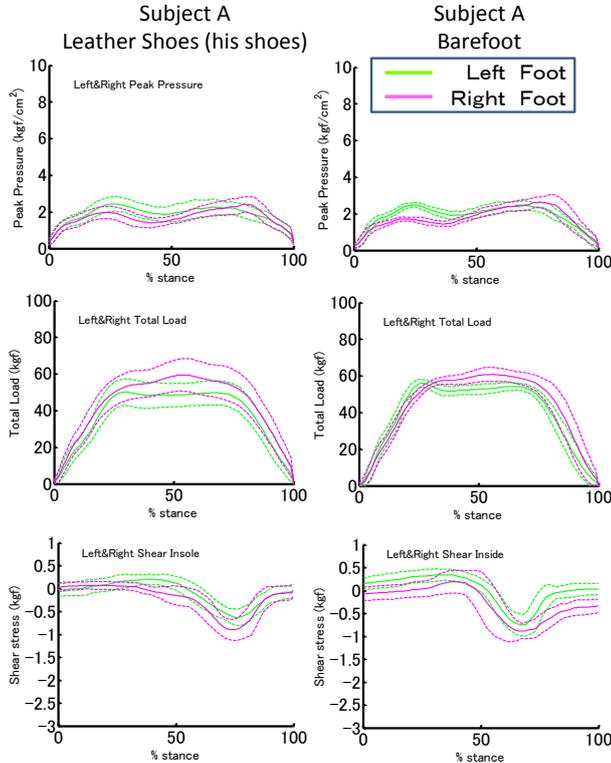


Fig 6. Subject A Barefoot & Shoes (leather)

被験者Aにおいて普段履いている靴と裸足での歩行の値はほぼ同じ傾向を示した。普段履きなれている靴でのピークの値は僅かに変化した。これは靴自体が持つ圧分散やせん断力の軽減の効果によるものと考えられる。

本来、靴を履くことにより、裸足時とは歩容が変化すると考えられるが、今回の様な結果が見られたのは、被験者固有の歩行の特徴により靴底の摩耗や靴自体の変形が起きることにより、裸足時の歩行に近くなったのではないかと考えられる。

被験者Bが普段履きなれたブーツで歩行した際の結果を図7に示す。左が普段履いているブーツでの歩行時の最大圧、総荷重、せん断力であり、右は図5で示した裸足歩行時のものである。

被験者Aが普段履きなれた革靴において、図6で示したのと同様、被験者Bにおいても普段はいているブーツと裸足時の歩行の結果は似た傾向を示した。裸足時と比較して最大圧やせん断力が高い値を示したのは靴の素材などによるものと考えられる。また、総荷重の左右の差の変化などが見られた。

総荷重の左右の差の変化について考えられる理由の1つとして、図8に示したインソールが挙げられる。踵部や第一中足骨骨頭部で著しい摩耗が見られており、この形状が荷重パターンに変化を与えた可能性が考えられる。

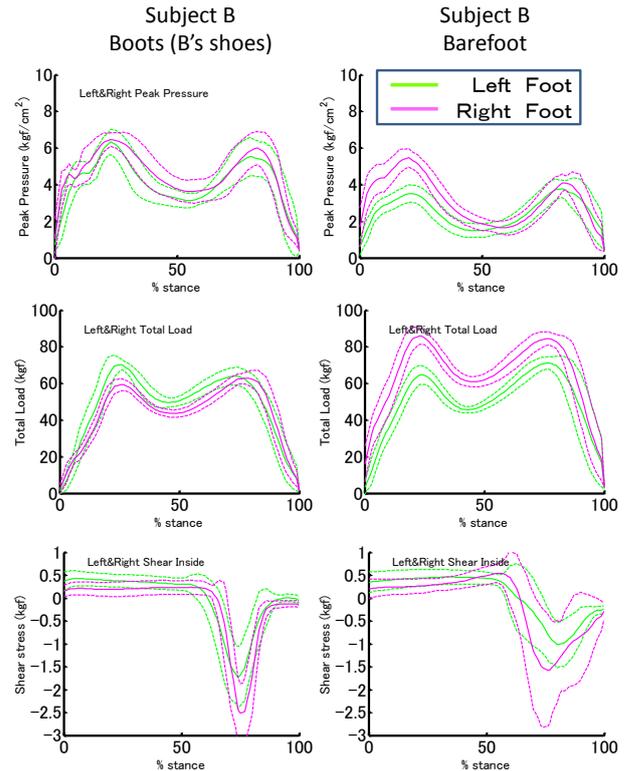


Fig 7. Subject B Barefoot & Shoes (Boots)



Fig 8. Subject B's insole (inside his shoes)

#### 4-3 普段履きなれていないを履いた際の裸足時との変化

次に普段履きなれていない靴で歩行した際に裸足時と最大圧、総荷重、せん断力がどう変化するかを検証した。

被験者Aが普段履きなれていないブーツで歩行した際の結果を図9に示す。

被験者Aは、図6で示したように、自身の普段履いている革靴では裸足時とほぼ傾向が変わらなかったのに対し、履きなれていないブーツでは、特に最大圧において測定値の大きなばらつきがみられ、最大圧やせん断力は裸足時よりも高い値を示した。図7において被験者Bが裸足時と比べて最大圧やせん断力の値が大きくなったのと同様に、圧力がせん断力や圧力が高くなっており、また、総荷重に関しても左右の差が変化した。

靴の素材やインソールの形状などによる影響も考えられるが、被験者Bが同じ靴で歩行した際の影響よりも大きく、履きなれていない靴では、より大きな影響を受け、歩容も変化していることが考えられる。

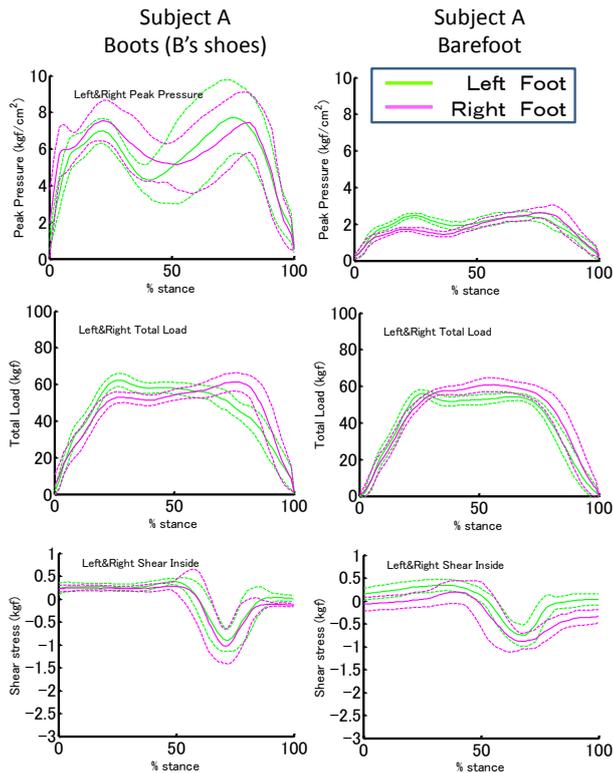


Fig 9. Subject A Barefoot &amp; Shoes (Boots)

最後に、被験者Bが普段履きなれていない革靴で歩行した際の結果を図10で示す。

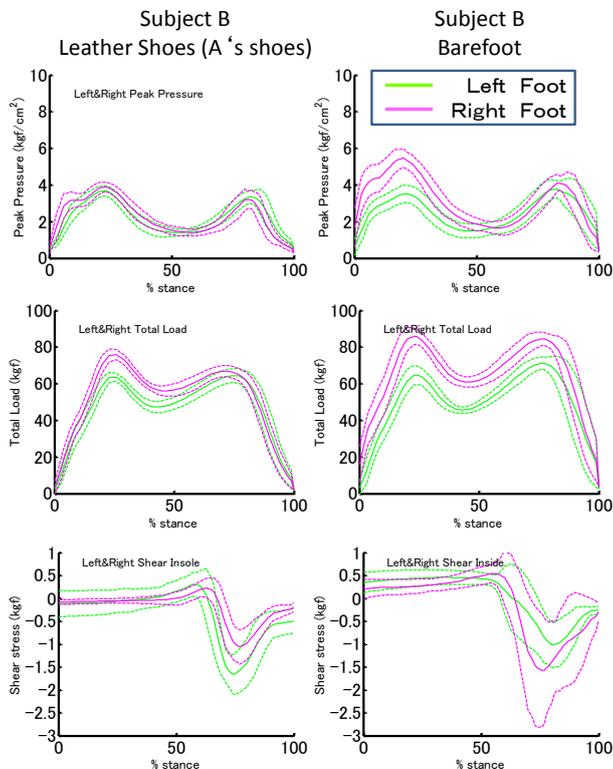


Fig 10. Subject B Barefoot &amp; Shoes (leather)

被験者Bにおいても普段履きなれていない靴では裸足時と違う傾向を示し、せん断力においては左右で大小関係が逆転するなど、大きく異なる値が見られた。

不適切なフットウェアの選択が潰瘍リスクを高めることは古くから知られているが<sup>(4)</sup>、靴やインソールの複合的な効果を検証する上でも今回用いた方法は有用である。

## 5. 結語

本研究では異なる被験者、フットウェアで歩行時の最大圧、総荷重、せん断力を比較することにより、靴や歩容の違いが足底に与える影響を検討した。

普段履きなれた靴での歩行では、靴底の摩耗や靴の変形により、裸足時の歩行に近い歩容となる可能性が示唆された。しかし、歩容が近くとも靴自体の機能により足が受ける力は増減するため、本研究で用いたような方法を用いて局所のせん断力・圧力を評価することが重要である。

普段履きなれていない靴での歩行は、靴自体の衝撃の吸収や摩擦の軽減などの効果の他に、普段履きなれた靴あるいは裸足での歩行と歩容が変化することにより、足底にかかる力が変化している可能性が示唆された。

しかしながら、本研究では大きく歩容の異なる2名の被験者のみを対象としたため、靴自体の機能が足底に与える影響や、靴により歩容が変化することが足底に与える影響それぞれの検討にはさらなる研究が必要である。今後被験者やフットウェアの種類を増やし、靴や歩容が足底に与える影響を検討することにより、より糖尿病足潰瘍予防に効果的なフットウェアの開発・評価に貢献することが期待される。

## 参考文献

- (1) H.J. Murray, M.J. Young, S. Hollis et al. "The association between callus formation, high pressures and neuropathy in diabetic foot ulceration" *Diabetic Medicine*, Vol 12, No. 11, pp 979-982, 1996
- (2) A.J.M. Boulton, R.P. Betts RP, C. I.Franks et al. "Abnormalities of foot pressure in early diabetic neuropathy." *Diabetic Medicine*, Vol. 4, No. 3, pp. 225-228, 1987
- (3) M.J. Mueller, D Zou, K.L. Bohnert et al. "Plantar stresses on the neuropathic foot during barefoot walking." *Physical Therapy*, Vol. 88, No. 11, pp.1375-1384, 2008
- (4) L.A. Lavery, E.J.G. Peters, D.G. Armstrong "What are the most effective interventions in preventing diabetic foot ulcers?" *International Wound Journal*, Vol. 5, No. 3, pp 425-433, 2008
- (5) 濱谷 雅子, 森 武俊, 野口 博史ら "糖尿病患者における胼胝保有要因解明のための足底圧力・剪断力同時測定システム", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会予稿集, pp. 1A2-O08(1)--1A2-O08(4), 2012
- (6) T. Mori, M. Hamatani, H. Noguchi et al. "Insole-type simultaneous measurement system of plantar pressure and shear force during gait for diabetic patients." *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol. 24, No. 5, pp. 766-772, 2012
- (7) 高野 学, 野口 博史, 大江 真琴ら "靴内部における剪断力・圧力の同時測定法の開発." 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会予稿集 pp. 1P1-E03(1)--1P-E03(4), 2013