

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 15 日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26462733

研究課題名(和文) 糖尿病足病変における荷重圧分散を考慮したモジュール化した靴の開発

研究課題名(英文) To provide the patient specific offloading shoe by modularization model for Diabetic foot patients

研究代表者

上村 哲司 (UEMURA, TETSUJI)

佐賀大学・医学部・准教授

研究者番号：90325621

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：糖尿病足病変における荷重圧分散を考慮した安価で簡便な靴の開発を目的に、足のモデルによる靴底足圧分布イメージベースドシミュレーションを作成し、足の形状を数値化したモデルの作成と有限要素法によるシミュレーションを行った。その結果、靴底足圧のシミュレーションのより様々な形状に対する足圧分散の比較が可能なが実証された。実際の糖尿病患者の靴底足圧分布イメージベースドシミュレーションにより様々な形状に対する足圧分散が行え、荷重圧分散を考慮した靴開発の基礎データの集積が行なえた。

研究成果の概要(英文)：In order to develop inexpensive and simple shoes taking into consideration the load pressure distribution of diabetic foot patients, we created a simulation based on images of foot pressure distribution in shoe soles using a foot model, creating a model quantifying foot shape and carrying out simulations using the finite element method. As a result, it was demonstrated that it is possible to compare foot pressure distribution for various shapes by simulating foot pressure on shoe soles. We were able to carry out foot pressure distribution for various shapes by using simulations based on images of foot pressure distribution on the shoe soles of actual diabetic patients and accumulated basic data for shoe development taking into consideration load pressure distribution.

研究分野：形成外科学

キーワード：糖尿病足病変 足底圧分布 荷重分散 有限要素法 モジュール化 靴

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 糖尿病の総患者数は約270万人(平成23年患者調査の概況(厚生労働省))と報告されており、糖尿病予備軍患者も含めると、成人の27%(平成23年国民健康・栄養調査報告(厚生労働省))となると推定されている。しかもその4割程度は未治療患者であり、これからも増加する傾向が見られる。

糖尿病患者は症状が進行した場合には、靴ずれや胼胝、外傷などが直接的な引き金となり、足壊疽になる可能性がある。さらに、糖尿病患者は、末梢神経障害があると、靴ずれができて、胼胝が大きくなっても、外傷を受けても、痛みを感じにくくなるため、手当てが遅れるケースが見られる。このような場合に胼胝は潰瘍に、潰瘍は壊疽に容易に進行する可能性がある。

(2) われわれの先行研究において、佐賀大学形成外科足専門外来・装具外来に受診しフットウェア(オーダーメイド靴)を作成した糖尿病患者に対し、足底ピーク圧の計測を行いフットウェア装用による効果を判定した。その結果、切断既往のある足18肢において裸足でのピーク圧が平均 $5.09\text{kg}/\text{cm}^2$ に対し、フットウェア着用時のピーク圧が平均 $1.73\text{kg}/\text{cm}^2$ であった。また切断既往のない足12肢においての裸足でのピーク圧が平均 $5.03\text{kg}/\text{cm}^2$ に対し、フットウェア着用時のピーク圧が平均 $1.71\text{kg}/\text{cm}^2$ と著明に圧の分散がなされており、足底のピーク圧は平均で約 $1/3$ に減少出来ており、今後潰瘍発生や再切断のリスクの高い患者においてフットウェアの作成は予防効果が高いことが確認されている(2013年日本形成外科学会基礎学術集会発表)。

しかしながら、現時点では図1のような足の形状測定や先行研究で示された図2のような足裏圧の平面的な測定は行うことはできるが、その他の部分の三次元的な測定は困難であり、靴の開発に有効なシミュレシ

ョンには至っていない。

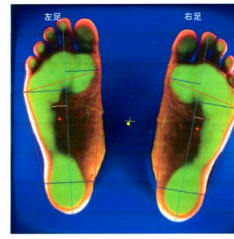


図1

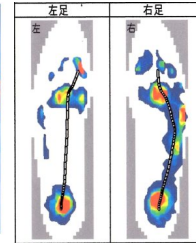


図2

## 2. 研究の目的

佐賀大学の足専門外来では、足趾の切断歴や潰瘍治療歴のある患者には、その病変の再発予防の為にオーダーメイド靴を作成しているが、現状ではその単価が高価である(約10万円)ため、靴を作成できない患者も存在する。また将来、糖尿病患者の急激な増加に伴う足病変患者の靴の問題は医療経済上も問題である。本研究は、靴は足を守る為の医療装具という観点から科学的に足の解剖と歩行状態を考慮した靴の開発を行う事にある。そこで、歩行状態も考慮に入れ、靴のモジュールを理工学部の協力の下、シミュレーションベースにより糖尿病患者の足に適した靴の選定を行い、これまでのオーダーメイドとは異なるエビデンスに基づくプロセスによる個人の足の特性に合わせたセミオーダー的な靴の開発過程の確立を目指すことを目的に本研究を行った。

\*モジュール化とは、幾つかの種類部品を組み合わせて、幾つかの要求に対応することで、ここでいう靴のモジュール化とは、靴の要素を本体(靴の外観)とインナー(靴底)に分け、この靴底の固さ(材質等)を数値化して、3次的にシミュレーションを行うことである。

## 3. 研究の方法

佐賀大学の足専門外来に来た患者の足の医療用CT画像データから、足のモデル(図3)を作成し、靴底足圧分布イメージベースドシミュレーションの実施と測定との検証を行った。

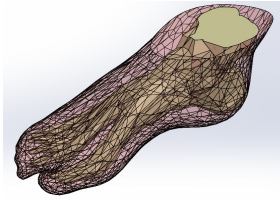


図3 足のモデル（軟部組織と骨を含む）  
4. 研究成果

(1)足モデルおよび靴底（インナー）などの適切な材料定数的な検証

解析を行うに当たってモデルを構成する各パーツに対して、それぞれ適当な物性値を与えた。軟組織の値は構成するものが皮膚、筋肉、脂肪のみとして平均的な体格に占める割合を元に物性値を合成して決定されたものである。また骨は構成するものが皮質骨海面質骨のみとして、骨に占めるそれぞれの割合をもとに物性値を合成して決定された値である。1)2)

軟組織と骨の材料特性を図4に示す

図4 足の材料特性

	Young ' s modulus (MPa)	Poisson ' s ratio
soft tissue	0.0714	0.44
bone	1550	0.44

ソールに関しては、アウトソールに一般的に用いられるラバーを仮定し値を決定した。またミッドソール、インソールに関しては更に柔らかい材料を仮定した。

ソールの材料特性を図5に示す。3)4)

図5 靴、ソールの材料特性

	Young ' s modulus (MPa)	Poisson ' s ratio
out sole (rubber)	6.1	0.49
midsole	4.0	0.183
insole	3.0	0.4

(2) 靴装着時の三次元足圧分布予測解析  
人が靴を履いて立っている状態を仮定し

て行った(図6)。

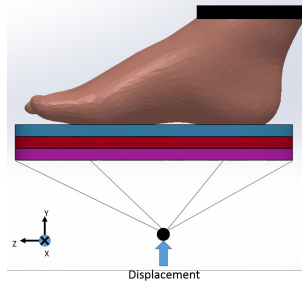


図6 靴を履いて、起立安静位での検証  
有限要素法を用いて人が靴を履いて立っている状態について解析を行った(図7)。

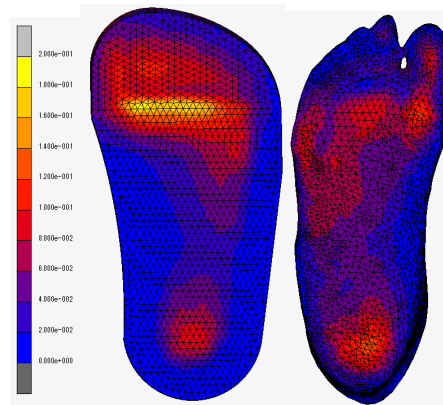


図7 有限要素法での解析例

フラットな形状のソールと足裏の形状を反映したソールを用意して、応力分布について比較と検討を行った結果、ソール形状を足裏にフィットさせる事で平坦な形状からどのように応力分散の様子が変化するかが分かり、ソールモデルを作る際は踵、母趾球、前足部外足側を中心に作ることで応力分散に有効な靴が作れることがわかった。

まとめ

糖尿病足病変における荷重圧分散を考慮した安価で簡便な靴の開発を目的に、足のモデルによる靴底足圧分布イメージベースドシミュレーションを作成し、足の形状を数値化したモデルの作成と有限要素法によるシミュレーションを行った。その結果、靴底足圧のシミュレーションのより様々な形状に対する足圧分散の比較が可能なが実証された。実際の糖尿病患者の靴底足圧分布イメージベースドシミュレーションにより様々な形状に対

する足圧分散が行え、荷重圧分散を考慮した靴開発の基礎データの集積が行なえた。

1) WEBNOTE-「身体・ボディ」健康と美容  
[http://health.k-solution.info/2010/06/\\_1\\_237.html](http://health.k-solution.info/2010/06/_1_237.html)

2) 体脂肪について  
<http://www8.plala.or.jp/shinozaki/taisi bou.htm>

3) 靴に使われる素材  
<http://www.asics.co.jp/walking/shoes-materials>

4) ヤング率  
<https://ja.wikipedia.org/wiki/ヤング率>

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計4件)

上村哲司、糖尿病足病変を診る医療者のための予防と管理を行うガイドライン. 日本フットケア学会雑誌 査読有、Vol14 No 2, 2016 49-56

<https://www.jstage.jst.go.jp/browse/footcare/-char/ja/>

菊池守、上村哲司、下肢救済・フットケア分野における装具に関するガイドライン. 日本義肢装具学会誌 査読有、Vol31 No3, 2015, 161-165

<https://www.jstage.jst.go.jp/browse/jspo/-char/ja/>

菊池守、石原康裕、安田聖人、上村哲司：糖尿病に伴う難治性足病変に対する Total Contact Cast 治療. 日本下肢救済足病学会誌、査読有、VOL 6, 2014, 100-105  
<https://www.jstage.jst.go.jp/browse/jlspm/-char/ja/>

上村哲司、石原康裕、糖尿病性壊疽・潰瘍、PEPARS、査読有、Vol93, 2014, 59-66  
<http://search.jamas.or.jp/index.php>

〔学会発表〕(計7件)

上村哲司、サバティカル海外研究 その1、ヘルシンキ大学. 第100回九州・沖縄形成外科学会学術集会、2016.3.12 太宰府天満宮 (福岡県太宰府市)

上村哲司、サバティカル海外研究 その2、米国 テキサス. 第100回九州・沖縄形成外科学会学術集会、2016.3.12 太宰府天満宮 (福岡県太宰府市)

菊池守、難治性足病変に対する Total Contact Cast を用いた治療の効果に関する多施設共同研究. 第14回日本フットケア学会年次学術集会(シンポジウム14)、2016.2.6 神戸ポートホテル (兵庫県神戸市)

上村哲司：糖尿病足病変の分類と歴史から何を学ぶべきか? - 日本フットケアの今後を考える。!! - . 第12回日本フットケア学会久留米セミナー(教育講演). 2015.10.24、石橋文化センター (福岡県久留米市)

Tetsuji Uemura、The possibility of a patient-specific foot orthosis based on three-dimensional computer-aided-design (CAD) models. 7th International Symposium on the Diabetic Foot. May20-23, 2015、ハーグ(オランダ)

上村哲司、難治性潰瘍の診断と治療、第6回日本創傷外科学会総会・学術集会(教育セミナー). 2014.7.24-25 香川国際会議場(香川県高松市)

上村哲司、佐賀大学における下肢救済のためのチーム医療 創傷外科医の立場から. 第6回日本下肢救済・足病学会学術集会(ハルビスタセッション)、2014.6.28-29 札幌プリンスホテル(北海道札幌市)

〔図書〕(計1件)

上村哲司 他、学研メディカル秀潤社、下肢救済マニュアル、2014, 408

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

糖尿病足病変予防戦略研究所  
<http://www.prs.med.saga-u.ac.jp/supla/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

上村 哲司 (UEMURA Tetsuji)

佐賀大学医学部・准教授

研究者番号：90325621

### (2) 研究分担者

萩原 世也 (GAGIWARA Seiya)

佐賀大学工学系研究科・教授

研究者番号：80198647

菊池 守 (KIKUCHI Mamoru)

佐賀大学医学部客員研究員

研究者番号：20437677

### (3) 研究協力者

川崎 東太 (KAWASAKI, Touta)

川野 啓成 (KAWANO, Hiroshige)

江西 浩一郎 (ENISHI, Kouichirou)

David Armstrong

Erkki Tukiainen