

令和 7 年 6 月 24 日現在

機関番号：32692

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2024

課題番号：20K20270

研究課題名（和文）日常生活の歩行に基づく新しいロッカーソールデザインの構築

研究課題名（英文）Development of a Novel Rocker Sole Design Based on Daily Walking Patterns

研究代表者

渡部 祥輝（Watanabe, Yoshiteru）

東京工科大学・医療保健学部・講師

研究者番号：30838107

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000 円

研究成果の概要（和文）：ロッカーソール（RS）は、足への負担を軽減する靴底の加工方法で、特に糖尿病足や関節疾患の歩行改善に用いられている。本研究では、RSの設計（頂点位置APと角度AA）が歩行機能やバランス機能に与える影響を調査した。その結果、APが近位（50%）やAAが小さい（70°）RSは、つまずきやすくなる可能性があり、転倒リスクが高まることが示された。安全性を考慮したRSは、AP60%以上、AA95°以上が望ましいと結論づけた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、ロッカーソールの設計が歩行やバランス機能に与える影響を明らかにすることで、転倒リスクの少ない靴の開発や選定に貢献するものである。高齢者や疾患予備群など、身体機能が低下した人々が安全に歩行できる環境を整えることは、健康寿命の延伸や介護予防に直結する重要な課題である。本研究の成果は、医療現場や靴の設計・販売に関わる産業界にとっても有益な知見を提供するものであり、広く社会に貢献する意義がある。

研究成果の概要（英文）：The rocker sole (RS) is a type of footwear modification that helps reduce stress on the foot during walking. It is commonly used in both clinical and commercial settings. This study examined how two design features of the RS, the apex position (AP) and the apex angle (AA), influence gait and balance. The results showed that placing the AP closer to the heel (at 50%) or using a smaller AA (70°) may lead to reduced toe clearance and poorer balance, which could increase the risk of falling. To reduce fall risk, RS designs should use an AP of 60% or more and an AA of at least 95°.

研究分野：バイオメカニクス

キーワード：rocker sole gait toe clearance balance

## 1. 研究開始当初の背景

糖尿病足病変は、糖尿病患者の主要な合併症の一つであり、その発症および再発は生活の質 (QOL) の低下をもたらすのみならず、医療費の増加や下肢切断のリスク増大を通じて、国の医療財政にも深刻な影響を及ぼしていた。特に再発率が高いことから、足病変の予防、とりわけ再発予防は極めて重要な課題とされてきた。その独立した危険因子として、日常生活における歩行における異常な足底圧の上昇が指摘されており、足底圧軽減を目的とした靴型装具の使用が国際的にも推奨されていた。

なかでもロッカーソールは、足底圧の軽減を目的として広く用いられていたが、従来のロッカーソールの設計は、実験室内あるいは限定的な環境下における歩行データに基づいており、日常生活に即した有効性は十分に検討されていない状況にあった。研究代表者は、これまでロッカーソールが歩行に与える影響を研究する中で、日常生活における歩行環境を反映したロッカーソールデザインの必要性を強く認識するに至り、本研究に着想した。特に、日常生活内の歩行を実測し、足底圧の特性と歩行動態を解析することで、真に有効な装具デザインの構築が可能であると考えた。

本研究は、急増する糖尿病患者の健康寿命の延伸を支援するとともに、合併症予防に寄与することで、医療費の抑制や介護負担の軽減をもたらす可能性を有していた。また、リハビリテーションおよび福祉工学分野における歩行支援装具設計の高度化を促進する点においても、学術的・社会的に大きな意義を持つと考えられた。

## 2. 研究の目的

本研究は、日常生活における歩行に着目し、足底圧および関節運動を計測可能なウェアラブルセンサを開発した上で、糖尿病足病変の再発予防に資するロッカーソールの有効なデザインを明らかにすることを目的とした。従来の研究では検討されてこなかった日常生活環境下における歩行中の足底圧軽減機能と歩行安定性を総合的に評価し、現実的かつ臨床応用可能な靴型装具の設計指針の確立を目指した。

## 3. 研究の方法

### (1) センサ開発

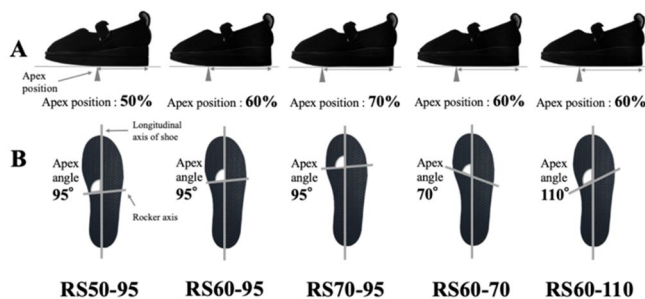
足圧センサの開発を中心に実施した。日常で使用可能なセンサを開発するに当たり、可能な限り安価であること、バッテリーの消費量の抑制、コード断線のリスクなどを減らしながら、糖尿病足病変の発症に関連する領域の足底圧を計測できることを目的に、開発をおこなった。精度の検証として静的立位での床反力垂直成分との比較、および一般的な歩行時の床反力垂直成分データの時系列データとの比較を行い、足圧センサの精度を検証した。

### (2) ロッカーソールのデザインが歩行安定性に及ぼす影響の検討

本研究では、ロッカーソール (RS) の設計要素が立位バランスおよび歩行安定性に及ぼす影響を検証するため、健常若年成人 20 名 (男女各 10 名) を対象に介入研究を実施した。頂点位置 (apex position: AP) および頂点角度 (apex angle: AA) を操作変数とし、5 種類の RS 靴 (RS50-95、RS60-70、RS60-95、RS60-110、RS70-95) と制御靴との比較を通じて (図 1)、RS 設計要素が身体の動揺や歩行中の安定性に与える影響を明らかにした。

### (3) ロッカーソールのデザインが歩行中の Toe Clearance に及ぼす影響の検討

頂点角度 (70°・95°・110°) および頂点位置 (50%・60%・70%) を組み合わせた 5 条件のロッカーソールを用いて、各条件下で練習後に 5 回の歩行測定を実施した(図 1)。利き足の歩行周期を解析対象とし、最小つま先クリアランス (MTC) や関節角度を算出し、統計解析を行った。



A: AP の位置を示した。B: AA の角度を示した。

図 1. 2つの研究におけるロッカーソールの条件

## 4. 研究成果

### (1) センサ開発

開発したセンサの検証の結果、静的立位に関して、COP(重心動揺中心)の X 軸方向及び Y 軸方向における 2 つのセンサー間の相関は、0.95~0.98 と高い相関が確認された。加えて、歩行時の床反力垂直成分の変化に関しても、各センサー(足底 7 箇所: 踵部、踵内側、踵外側、第 5 中足骨底部、第 5 中足骨、第一中足骨頭部、母趾部)から得られた圧力の合計値の時間的変化は、先行研究で得られた歩行時の床反力垂直成分の推移と同等であった。しかし、新型コロナウイルス感染症の蔓延の影響により実用的なレベルまでの開発は実現しなかった。

### (2) ロッカーソールのデザインが歩行安定性に及ぼす影響の検討

静的な立位バランス指標である COP (重心動揺中心) の軌跡長 (mean path length) は、RS60-70 条件において制御靴と比較して有意に長くなっており ( $p<0.05$ )、立位時の不安定性の増大を示した。さらに、LOS (limit of stability) においても、RS 条件すべてで最大前方移動距離が制御条件よりも有意に低下しており ( $p<0.05$ )、RS 着用による可動限界の制限が確認された。

次に、歩行安定性の評価として用いた LMOS (lateral margin of stability) では、RS60-70 において有意な増大が認められた ( $p<0.05$ )。この増大は、歩行時の左右方向における支持基底面からの逸脱傾向を示しており、側方の不安定性を意味する。特に、AA が 70° と小さい条件では、立位・歩行の両場面で不安定性が顕著であった。このことから、AA の小さい RS 設計は、支持基底面を縮小させる構造上の特性により、バランス機能に不利に働くことが示唆された。

また、性差に着目した解析では、一部条件において男性の方が女性よりも COP の軌跡長が長く、LMOS が大きい傾向がみられたが、性別と RS 設計との交互作用は統計的に有意ではなかった。したがって、RS の設計要素がバランスに与える影響は、性差に依存せず一般的に成立する傾向が示唆された。

これらの結果から、RS 設計における AA は立位および歩行の安定性に対して独立した影響因子であることが確認された。特に AA が小さい (70°) RS は、立位時の COP 動揺を助長し、歩行中の LMOS を増加させることで、全体としてバランス能力を低下させるリスクがあることが明らかとなった。したがって、RS を処方する際には、足底圧の軽減効果のみならず、患者のバランス機能に応じた AA の調整が必要であると考えられる。

本研究は健康成人を対象とした基礎的検討であるが、得られた知見は今後、糖尿病性足病変患者や高齢者等の転倒リスクの高い集団への応用を視野に入れた RS 設計指針の構築に貢献しうる重要な基礎資料となった。

### (3) ロッカーソールのデザインが歩行中の Toe Clearance に及ぼす影響の検討

本研究では、頂点角度および頂点位置の異なる 5 種類のロッカーソールを用いて、歩行時の最小つま先クリアランス (Minimum Toe Clearance; MTC) および下肢関節運動への影響を検討した。解析の結果、頂点角度が小さい (70°) ロッカーソール条件では、MTC が有意に低下する傾向が認められ、つまずきのリスクが相対的に高まる可能性が示唆された。一方で、頂点角度が大きく、頂点位置が足部中央付近 (60%) にある条件では、MTC が最も高く、歩行中の足部のクリアランスが確保されていた。関節運動の分析では、MTC 出

現時における股関節屈曲角度および足関節背屈角度が、ロッカーソール条件によって変化した。特に足関節の背屈動作の関与が大きかった。これらの結果は、ロッカーソールの設計が歩行時の足部の挙上量に直接的に関与し、つま先クリアランスを通じて歩行の安全性に影響を与えることを示している。本研究により、つまづき予防の観点から適切なロッカーソールの設計指針を検討するうえで、MTC の変化に着目することの有用性が明らかとなった。

# 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Watanabe Yoshiteru, Kawabe Nobuhide, Mito Kazuyuki	4. 巻 86
2. 論文標題 The apex angle of the rocker sole affects the posture and gait stability of healthy individuals	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Gait & Posture	6. 最初と最後の頁 303～310
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.gaitpost.2021.03.033	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 渡部祥輝、河辺信秀、石原天馬、小林優奈、 深山凌果、竹村満莉奈、青柳陽太
2. 発表標題 Rocker bottom shoesが歩行中のToe clearanceの変動性に及ぼす影響
3. 学会等名 第4回 日本フットケア・足病医学会年次学術集会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 渡部祥輝、河辺信秀、 水戸和幸、 田村将希
2. 発表標題 ロッカーソールの頂点位置の違いが歩行中のToe clearanceに及ぼす影響
3. 学会等名 第1回 日本フットケア・足病医学会関東・甲信越地方会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 清水泰地、安倍大樹、有馬加偉、根本恵梨、山主千皓、渡部祥輝
2. 発表標題 健常成人男性における環境による足底圧の違いについて
3. 学会等名 日本フットケア・足病変医学会年次学術集会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	水戸 和幸  (Mito Kazuyuki)	電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授  (12612)	
	河辺 信秀  (Kawabe Nobuhide)	東都大学・幕張ヒューマンケア学部・教授  (32428)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------