

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 5 月 30 日現在

機関番号：13901

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2022～2023

課題番号：22K21205

研究課題名（和文）下肢筋力低下の検出と足底感覚強化によりフレイルを予防するスマートインソールの開発

研究課題名（英文）Development of the smart insole preventing Frailty by the detection and foot bottom sense reinforcement of lower limbs muscle weakness

研究代表者

山賀 崇（Yamaga, Takashi）

名古屋大学・医学部附属病院・医員

研究者番号：00963620

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：つま先、内側、外側、踵の4か所に圧センサーを挿入したスマートインソールを設計、開発した。このインソールを挿入した靴を履き、歩行した際の部位ごとの経時的な荷重圧データを解析することにより、サルコペニアやロコモティブシンドロームの早期発見ができることを目指し、研究を行った。各年齢の健常者、整形外科で変形性膝関節症、腰部脊柱管狭窄症と診断された患者、アスリートやスポーツ外傷術後の患者など様々な集団で経時的に歩行解析を行った。これらのデータを機械学習にかけることにより、変形性膝関節症患者の検出、病期の推定をすることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

75～79歳では男女ともに約2割、80歳以上では男性の約3割、女性の約半数がサルコペニアに該当し、サルコペニアになると死亡、要介護化のリスクがいずれも約2倍高まると言われている。そのため、サルコペニアを早期発見し、運動や食事などの生活習慣の改善等によって、その進行を食い止めることは健康寿命の延伸につながる。靴は家の中以外では自然と身に着け、外出時にはほぼ装着したままであり、日常生活の中での生体データを抵抗なく採取するのに有用なツールである。そこに注目し、靴の中に挿入できるインソールデバイスから早期にサルコペニアを検出し、対象者に早期介入することにより、健康寿命を延伸する。

研究成果の概要（英文）：I designed a tiptoe, the inside, the outside, the smart insole which inserted a pressure sensor in four places of the heel and developed it. I aimed at there being early detection of sarcopenia and the local people motive syndrome by analyzing the diachronic load pressure data every part when I walked in the shoes which inserted this insole and studied it. I analyzed a walk in a physically unimpaired person, orthopedics of each age over time in various groups such as degenerative gonarthrosis, a patient, an athlete or a patient after the skill in sports injury who had a diagnosis of hips spinal column stenosis. I was able to estimate the detection, the stage of a disease of patients with degenerative gonarthrosis by betting these data on machine learning.

研究分野：リハビリテーション

キーワード：スマートインソール フレイル サルコペニア 変形性膝関節症

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

#### 【加齢による筋力低下と足趾把持力による早期検出】

サルコペニアやロコモティブシンドロームなどに代表される加齢による全身筋肉量の減少は、移動能の低下や体幹の筋力低下を介し、高齢者の活動性と生活の質を大きく低下させる。全身筋肉量の低下に対して早期介入することで予後を改善させる報告が多くされており、筋肉量低下の予兆を早期に検出し病状悪化を予防する介入方法が多くの研究者により探索されている。

全身筋肉量の推定には握力測定が用いられているが、移動能力は上肢よりも下肢や体幹の安定性によって影響を受ける。また下肢筋力低下は握力低下よりも早期に生じ、筋力低下の早期検出には下肢に着目した方が合理的である。下肢筋力の中で特に足趾把持力は、サルコペニア患者において握力よりもかなり早期に低下が生じることが判明しており(Mickle 2016)、足趾把持力の早期検出するマーカーとしての可能性がある。

#### 【足底感覚強化の意義】

類人猿からのヒトへの進化において、足部の機能は物の把持から移動と体幹保持へ変化した。その名残で足底には手掌と同程度の密度で感覚受容器が存在する。足底皮膚の表在深部感覚は加齢や疾患で障害され、筋力低下とともに高齢者の歩行能力低下を引き起こす。興味深いことに感覚低下に対してそこを刺激・賦活する介入は歩行能力の改善や転倒リスクの低減ができることが報告された(Viseux 2020)。視力調節障害や難聴に対して眼鏡や補聴器を使用して感覚機能を強化するように、足底感覚についても感覚を賦活・強化し、下肢体感の反射や筋力を強化し機能の悪化を予防することが期待でき、本研究を開始した。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は全身筋肉量の低下を早期検出し、足底感覚を強化できるインソールを設計、開発し、サルコペニアやロコモティブシンドロームの前段階で早期発見し、運動や食事などの生活指導による早期介入を行い、健康寿命を延伸することである。

### 3. 研究の方法

爪先、内側、外側、踵の4か所に圧センサーを挿入したインソールを作成した。各センサーから得られた情報は中央の回路で処理され、bluetooth を用いて携帯端末やパソコンへ伝送できるようにした。

被検者は作成したインソールを挿入した靴を履き、10m を2往復歩行し、その際の各部位の圧力の波形から得られた情報をもとに、150以上の特徴量を設定し、これらを機械学習にかけ、解析を行った(図1)。

一般健常者、整形外科通院中の変形性膝関節症患者、腰部脊柱管狭窄症患者、アスリート、前十字靭帯損傷術後などの術後患者など様々な集団で計測を行った。

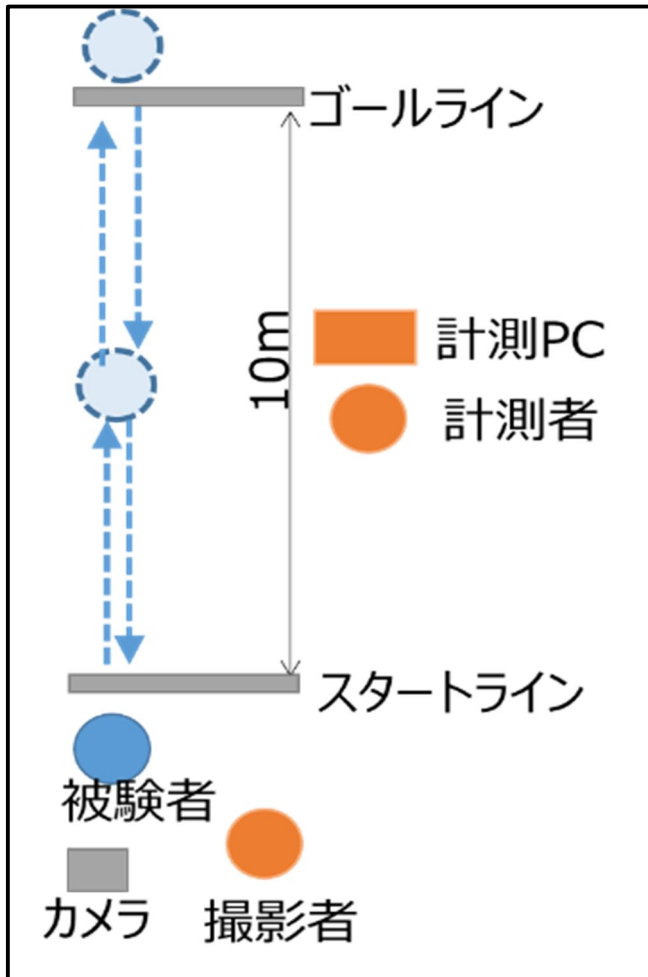


図1 実際の計測の様子の模式図

#### 4. 研究成果

実際に測定した結果を示す(図2)。左右それぞれの踵(青線), 外側(黄線), 爪先(緑線), 内側(赤線)がそれぞれの歩行周期ごとに、時系列でグラフに示された。今回作成したスマートインソールから、従来からある同様のインソールデバイスでも測定可能であった, 歩行速度や歩幅, 左右それぞれの遊脚期・立脚期の時間, 比率のみならず, 部位ごとにおける詳細な圧波形の変化を時系列で計測することができた。これらのデータをもとに, 150 以上の特徴量を設定し、それらの設定した特徴量を機械学習にかけることにより, 変形性膝関節症の検出, 病期の推定を目指した。

具体的な特徴量としては、従来のインソールデバイスでも測定が可能であった, 歩行速度や歩幅, 遊脚期率, 立脚期率, のみならず、我々のデバイスに特徴的に計測ができる、それぞれの歩行周期における部位ごとの接地時間や圧力の割合などである。

実際に整形外科受診中の変形性膝関節症患者を単純 x 線で Kellegren-Lawrence 分類の grade0 ~ grade 3 に分類し、それぞれの群における特徴量の違いを統計学的に調査した。

結果、立脚期や遊脚期の部位ごとの荷重圧や時間において有意差を示す特徴量を見出すことができた。

現時点で、変形性膝関節症患者以外にも、腰部脊柱管狭窄症や外傷の術後など様々な患者群に対して、同様の研究を行っており、今後は患者数をさらに増やし、より精度の高いものへと発展していきたいと考えている。

これにより、被検者は自覚症状がなく、医療機関へは受診する前段階で、早期の変形性膝関節症や腰部脊柱管狭窄症などサルコペニアやロコモティブシンドロームへとつながる運動器疾患を検出できる可能性がある。それらの被検者に対し、早期に運動療法や栄養指導などを行うことにより、健康寿命を延伸できる可能性を見出すことができた。

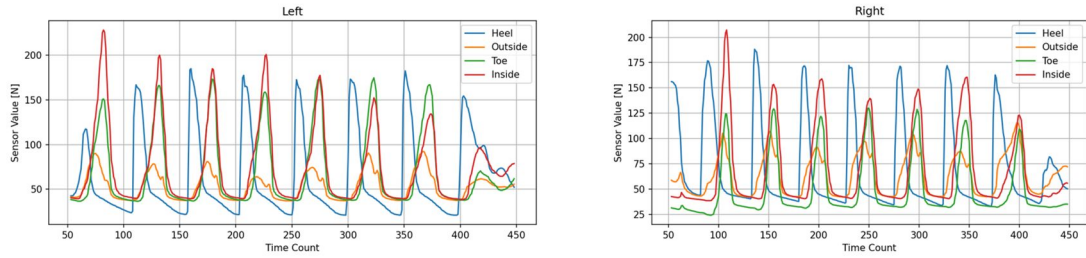


図 2：歩行周期，部位ごとの荷重圧波形のグラフ(左：左足 右：右足)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 山賀 崇
2. 発表標題 スマートインソールによる変形性膝関節症患者の歩行解析
3. 学会等名 第38回日本整形外科学会基礎学術集会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山賀 崇
2. 発表標題 スマートインソールによる変形性膝関節症患者の歩行解析
3. 学会等名 第48回日本足の外科学会学術集会
4. 発表年 2023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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------