

令和元年6月12日現在

機関番号：82626

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K16478

研究課題名(和文) 歩行寿命の延伸を目指した足部支援システムの開発

研究課題名(英文) Development of a foot support system to aid walking

研究代表者

中嶋 香奈子 (Nakajima, Kanako)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・研究員

研究者番号：00760290

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、日常生活中におけるヒトの足部状態や歩行動作をモニタリングし、定量評価を行うことにより、足元の観点から考える健康管理を目的とした。開発した歩行機能評価デバイスは、ワイヤレスな状態で歩行中の足底部荷重状況や足部動作の計測ができ、無線通信によりデバイス制御用ソフトウェアに取得データの伝送が可能である。本デバイスを用いて、実験室内で取得した詳細な歩行データと、地域在住の健康者・高齢者を対象としたフィールド実験データの関連性を分析し、被験者の身体機能特徴ごとに評価点を抽出することで歩行データのパタン分類を行った。これにより、定量的に対象者の足部・歩行状態を可視化・評価可能なことを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高齢者の転倒リスク評価を目的とした主観的評価に基づく調査や、身体機能評価装置の開発は多く行われてきた。しかし、主観評価は定性的であり評価結果のばらつきが大きい問題点がある。一方で、実験室ベースで考案された身体機能の評価手法は研究レベルに留まり、生活に関わる現場では活用されていない。本研究で開発した歩行機能評価デバイスを用いて、生活に即した歩行・足部機能評価に着目した点は本研究の大きな特徴である。本デバイスは、歩行・足部機能の維持や足部ケアの意欲を向上させるための対象者への計測結果の提示と数値に基づく指導のためのツールとしても活用でき、これまで不可能であった具体的な介入を可能にすると期待できる。

研究成果の概要(英文)：This study aimed at health management considered from the point-of-view of foot condition and monitoring the subject during everyday walking. The gait evaluation device we developed can measure the plantar load condition and foot movement while walking wirelessly, and can transmit the acquired data to device software by wireless communication. Using this device, we analyzed the relationship between detailed walking data acquired in the laboratory environment and field experiment data for a group of healthy elderly people. The evaluation points for each physical function characteristic were extracted and the pattern of walking data was classified. As a result, it was confirmed that using our results it was possible to visualize and evaluate the foot and walking condition of the subject quantitatively.

研究分野：人間工学

キーワード：歩行動作分析 足部機能評価 足底圧計測 無線通信 リアルタイムモニタリング 人間工学 計測工学 足部異常予防

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

高齢者の転倒骨折は深刻な問題であり、最も重篤な転倒骨折の1つである大腿骨頸部骨折を引き起こすことで寝たきりのリスクが高いことが挙げられる。また、ヒトの身体の中で唯一、大地に接地している足部は歩行などの動作に深く関連することから、足部状態は全身の機能に影響することが考えられるが、高齢者の約6割に外反母趾、足趾変形、巻き爪などの異常が発生し、それらの足部異常は転倒リスクを増加させるとの報告がある。各年代の足部異常は深刻であり、幅広い年齢層を対象に足元からの健康管理に対する関心を高め、足病の予防、そして歩行寿命の延伸を目指すことが必要であると考えられる。

2. 研究の目的

上記の研究背景に基づき、本研究では、日常生活でのヒトの歩行動作を定量的に計測することで足部状態の維持、異常の改善のための評価手法の提案を目的とした。その実現のために、評価デバイスおよび制御用ソフトウェアの開発を行い、対象となる高齢者が活動する地域においても有用可能なシステム構築を目指した。

3. 研究の方法

本研究では、主軸として以下の2点の研究内容を遂行した。

- (1) 日常生活現場で活用可能な歩行機能評価デバイスの開発
- (2) 足部状態・歩行機能の関連性分析と自動分析アルゴリズムの構築

(1)では、図1に示すように、圧力センサと加速度・角加速度センサを靴に設置し、各センサから得られる出力値を無線通信により制御用PCやタブレット型端末に伝送する歩行機能評価デバイスを開発する。先行研究において、加速度計などの慣性センサを用いた歩行動作検知デバイスの開発は行われているが^{1,2)}、それらは歩行フェーズ(立脚期や遊脚期)や階段昇降などヒトの動作検知に留まるのみで、対象者個人の足部状態、および足底部にかかる圧力と足部の動的な傾きにまで着目し、対象者の歩行機能に言及した研究は見当たらない。このことから、本研究では日常的な歩行動作から足部状態をリアルタイムモニタリング可能な評価デバイスを開発する。

靴のインソールからの足圧検知には、感圧導電ゴム式圧力センサ(PSCR センサ、ヨコハマイメージシステム社製)を採用し、歩行の評価に重要なパラメータとなる足趾部、前足部、中足部(外側)、後足部の領域に設置する。足部の傾き検知には、加速度・角加速度センサ(MPU-6050 搭載三軸加速度三軸ジャイロセンサモジュール)を採用し、前足部と踵骨部に設置する。無線通信方式はBluetoothを使用し、データ取得のサンプリング周波数は100Hzとする。また、各センサデータを受信するためのソフトウェア開発を行い、各センサデータをリアルタイムにモニタリング可能なよう構成する。

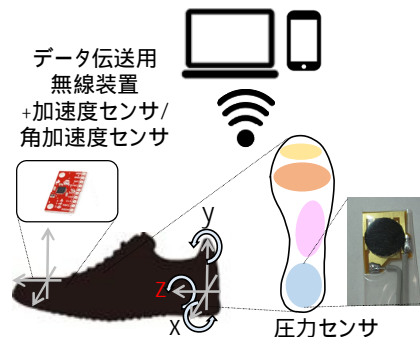


図1 歩行機能評価デバイスの概要図

(2)では、歩行機能評価デバイスを用いたフィールド実験とデータ自動分析アルゴリズム構築、歩行機能評価システムへの実装を行う。歩行機能評価デバイスを用いたフィールド実験では、実験室環境下以外においてもデバイスの有効性を調査するとともに、対象者ごとの歩行特徴の抽出を行う。歩行時の足裏にかかる圧力データと、つま先の挙上を示すクリアランス・踵の動きに関わる加速度・角加速度データから、足部異常と歩行動作の関連性メカニズムを明らかにし、日常生活中で活用可能な歩行機能の定量的評価手法を確立する。

以上の計画を遂行し、将来的には足部に関する総合的な情報管理を目指し、歩行機能評価デバイスを含めた生涯を通じた足部支援システム「Foot record」の構築につなげる。本システムにより、生活に関わる地域の中での情報連携を実現することで人々の歩行寿命の延伸を目指す。

4. 研究成果

(1) 歩行機能評価デバイスの開発

開発を行った歩行機能評価デバイスは、圧力センサと加速度・角加速度センサを靴に設置し、各センサから得られる出力値を無線通信により制御用PCやタブレット型情報端末に伝送する仕組みとした。そのため、対象者は無拘束な状態で、リアルタイムに取得データをモニタリングすることが可能である。はじめに、歩行機能評価デバイスの試作機を作製し、センサから得られるデータ無線通信の安定性やデバイスの精度検証を行った。本デバイスは靴に装着し、ユーザが日常生活中において使用することを目的としていることから、試作デバイスの小型・軽量化を図りデバイスの改良を進めた。

開発デバイスを用いて健常者20名を対象とした歩行動作計測を行った。実験時には、開発デ

バイスおよび既存のモーションキャプチャシステム・フォースプレートを使用した三次元動作計測、静止立位時の足底圧分布図計測、足部状態の評価を実施した。本実験結果を基に、ヒトの足部特徴や足底部にかかる圧力分布特徴と歩行時の全身の動作特徴との関連について分析を進めた。結果より、足底圧の荷重傾向と身体動作のパターン分類ができ、個人の足部状態に着目した特徴量の抽出を行うことができた。

(2) 健常者・高齢者を対象としたフィールド実験

上記開発デバイスのさらなる有用性の検証のため、フィールド実験を実施した。本実験の被験者は本研究プロジェクトのターゲットとなる健常者・高齢者 52 名であり、歩行機能評価デバイス計測データ、足部状態（アンケート、写真撮影）、過去 1 年間の転倒歴の計測パラメータを取得した。フィールド実験の結果を基に、歩行中の足底部にかかる圧力分布や足部形状特徴と足部動作特徴との関連について分析を行った。実験より、開発デバイスが地域の健康教室や介護予防教室等を含めたフィールドにおいて活用可能であることを確認した。本デバイスは軽量で持ち運び可能であることから、実験室環境だけではなく様々な場面での活用が期待できる。さらに実験で得られたデータの分析により、足底圧の荷重傾向と足部動作のパターン分類ができ、被験者個人の足部状態に着目した特徴量の抽出を行うことができた。

(3) 実験データ分析と評価アルゴリズムの構築

これまでに実験室環境内で取得した歩行データと、地域在住の健常者・高齢者を対象としたフィールド実験における歩行データのそれぞれの関連性を分析し、被験者の身体機能の特徴ごとに評価点を抽出することで歩行データのパターン分類を行った。さらに、データの自動分析アルゴリズムの構築と、歩行機能評価システムへの実装を目指し、分析アルゴリズムを制御用ソフトウェアの機能に組み込むことで計測データのリアルタイムモニタリングおよび即時フィードバックが可能なようシステムの改良を行った。ここで用いた計測データの評価パラメータは、歩行動作時の足底最大圧力、足圧中心軌跡（COP: Center of Pressure）、前足部・後足部の加速度・角速度、足部異常の有無の分類等である。その結果、外反母趾を有する対象者や過去 1 年間の転倒歴を持つ対象者等の足部・歩行特徴を定量化することができ、計測データの可視化につながる評価方法を確立することができた。加えて、歩行機能評価システム全体の評価のための検証実験を行った。本システムにより、定量的に対象者の足部・歩行状態を可視化することができ、具体的な数値としてそれらを実験可能なことを確認した。

(4) 得られた成果の国内外における位置づけとインパクト

高齢者の転倒リスク評価を目的とした主観的評価に基づく大規模調査や、身体機能の評価装置の開発は多く行われてきた^{3,4)}。しかし、アンケート等に基づく主観評価は定性的であり、評価結果のばらつきが大きい問題点が挙げられる。一方で、実験室ベースで考案された身体機能の定量的評価手法は研究レベルに留まり、実際に人々の生活に関わる現場では活用されていない。これらのことから、本研究で開発した歩行機能評価デバイスを用いて、人々の実際の生活に即した、より現実的な歩行機能・足部の評価に着目した点は本研究の大きな特徴であると考えられる。本開発デバイスは、足部機能の維持や足部ケアに対するモチベーションを向上させるための対象者への計測結果の提示とその数値に基づく専門家からの具体的な指導を行う評価ツールとしても活用でき、これまで不可能であった定量的な数値に基づく介入を可能にすると期待できる。

高齢者の大腿骨頸部骨折にともなう医療費は 132 万円/人であり、転倒後の医療・介護費として 7,300 億円（医療・介護費用全体の 5%）が費やされているのと報告がなされた⁵⁾。幼児期から足部異常が発生し、人間の骨格が形成される 20 歳までに身体の基礎となる足元が故障している場合には、加齢に伴い高齢期になった際の転倒リスクがさらに増大することや膝や腰への影響から慢性的な疾患を生むことは明らかであり、効果的な対策が必須である。本研究により得られた知見で転倒予防や健康的な歩行機能維持のための具体的な評価手法を示すことは、日本のみならず世界規模での社会的インパクトが大きいと主張できる。

(5) 今後の展望

本研究内容は、臨床や保健などの実際の現場においても活用可能な評価デバイスの発展および、データ自動分析アルゴリズムの構築・検証を目指した計画である。足部や歩行特徴は個人の特性が深く関連することから、今後は様々な特徴を有する対象者のデータにも対応可能なよう大規模な歩行動作のデータを収集し、日常生活での歩行計測データの分析およびデータのフィードバックが簡便に可能なようさらに仕組みを確立させることで、歩行機能評価デバイスの機能性・有用性の向上を目指す。

< 引用文献 >

1) Farzin Dadashi, Benoit Mariani, Stephane Rochat, Christophe J. Büla, Brigitte Santos-Eggimann and Kamiar Aminian, Gait and Foot Clearance Parameters Obtained Using Shoe-Worn Inertial Sensors in a Large-Population Sample of Older Adults, Sensors 14(1), 2014, 443-457.

- 2) Benoit Mariani, Hossein Rouhani, Xavier Crevoisier, Kamiar Aminian, Quantitative estimation of foot-flat and stance phase of gait using foot-worn inertial sensors, *Gait & Posture*, 37(2), 2013, 229-234.
- 3) Bartłomiej Wójtowicz, Andrzej Dobrowolski, Kazimierz Tomczykiewicz, Fall Detector using discrete wavelet decomposition and SVM classifier, *Metrol. Meas. Syst.*, 22 (2), 2015, 303-314.
- 4) 加藤智香子, 藤田玲美, 猪田邦雄, 二次予防事業対象者に対する運動器機能向上プログラムの参加者特性と介入効果の検証, *日本老年医学会雑誌*, 50(6), 2013, 804-811.
- 5) 林泰史, 高齢者の転倒防止, 第49回日本老年医学会学術集会記録, 44, 2007, 519-594.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

Kanako Nakajima, Yoshiyuki Kobayashi, Mitsunori Tada, Masaaki Mochimaru, Evaluation of plantar pressures in people with hallux valgus using principal component analysis, *Technology and Health Care.*, 査読有, 26(4), 2018, 667-674.
DOI: 10.3233/THC-181190

中嶋香奈子, 小林吉之, 多田充徳, 持丸正明, 歩行時の足底圧に着目した中高年転倒経験者の特徴評価, *日本転倒予防学会*, 査読有, 5(3), 2018, 43-53.

〔学会発表〕(計 5 件)

浅野春菜, 安在絵美, 中嶋香奈子, 小林吉之, 太田裕治, 加速度センサを用いた変形性膝関節症歩行評価システムの開発, *看護理工学会*, B-08, 2018.

辻万里奈, 安在絵美, 中嶋香奈子, 松本卓巳, 張成虎, 太田裕治, 足圧計測デバイスを用いた外反母趾術後歩行指導のための聴覚フィードバックシステムの開発, *看護理工学会*, B-07, 2018.

中嶋香奈子, 小林吉之, 橋詰賢, 持丸正明, 足部異常に着目した歩行時の足底圧評価に関する研究, *バイオメカニズム学会*, 179-180, 2016.

Kanako Nakajima, Emi Anzai, Yuji Ohta, Evaluation of Foot Deformity Based on the Plantar Pressure during Walking, *Engineering & Technology, Computer, Basic & Applied Sciences 2016 (ECBA- 2016)*, 2016.

中嶋香奈子, 近井学, 井野秀一, 佐藤洋, 圧力分布計測手法を用いた足部状態の定量評価, *つくば医工連携フォーラム*, 2016.

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年:

国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。