

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：33916

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K11172

研究課題名（和文）小型無線慣性センサーを活用した歩行インシデントの客観的分析法の考案

研究課題名（英文）Development of quantitative incident analysis during walking using a small wireless inertial sensors

研究代表者

大塚 圭 (Ohtsuka, Kei)

藤田医科大学・保健学研究科・准教授

研究者番号：60460573

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、臨床で活用できる歩行のインシデント分析システムの開発の一環として、小型無線慣性センサーを用いて、臨床指向性の高い歩行のインシデント出現率の分析方法を開発することを目的とした。本システムでは、仙骨部と両大腿部に装着した小型無線慣性センサーで取得できる加速度と回転角を計測する。両大腿部の回転角のデータから判定が困難となる異常歩行の歩数の検出と、仙骨部の加速度のデータを用いて、転倒に至る直前で介助を要した現象（Fall）の判定が可能であることを確認できた。この結果より、歩行中に発生したインシデントの発生頻度の算出する評価法（インシデント出現数/全歩数×100）を考案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在、臨床で一般的に行われている視診による転倒mのリスク評価は、簡便かつ即時性の利点はあるものの、評価者間の信頼性が問題視されている。その一方で機器を用いた客観的な評価は、人的・経済的コストや評価などの問題から、臨床では活用されていない。本研究で開発したシステムの特徴は、省空間での計測が可能である点や操作の簡便性などの利点を有する小型無線慣性センサーを用いて、異常歩行にも対応した歩数検出と歩行のインシデント判定ができる点である。本システムが実用化されるようになれば、客観的な転倒リスク評価が可能となり、歩行の自立度判定や歩行練習の難易度設定の決定する役立てられると期待できる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to develop a clinically oriented method for a quantitative incident analysis during walking using small wireless inertial sensor. The system measures the acceleration and rotation angle that can be obtained by small wireless inertial sensors attached to the sacrum and bilateral femurs. It was possible to detect the number of steps in abnormal gait, which was difficult using the rotation angle data of bilateral thighs, and to judge the phenomenon (Fall) that required assistance immediately before falling using acceleration data of sacrum. Based on these results, we devised the evaluation method for calculating the frequency of incidents while walking (the number of incidents/the total of steps) × 100).

研究分野：理学療法

キーワード：歩行インシデント 小型無線慣性センサ 客観的分析

1. 研究開始当初の背景

厚生労働省「国民生活基礎調査（平成 28 年）」によると、「転倒」は骨折とともに高齢者の介護が必要となる要因のうち 12.5%（第 4 位）を占めており、「転倒予防」は我が国における高齢者医療の最重要課題の一つとなっている。転倒予防に関する取り組みは、リハビリテーション医療においても転倒リスクのチェックシートなどの情報とともに、リハビリテーションや日常生活における歩行中のふらつきやつまずき等の現象を観察し、転倒リスクの評価が行われている。

歩行中に発生する転倒は、歩行の失敗の結果と捉えることができる。失敗は、運動学習理論におけるフィードバックの一つである Knowledge of Results: KR（失敗か成功かの情報）を分析することで評価できる。実際には、転倒に至った失敗だけではなく、失敗に至りそうになった歩行のインシデントの評価も重要となる。

現在の臨床現場では、歩行のインシデントの評価は医師や理学療法士の視診によって主観的に観察されている。視診は、簡便で即時的である一方、評価者間信頼性の低下が問題視されている。今後、主観的な評価に止まらず歩行分析機器を用いて、客観的かつ定量的に歩行中のインシデントを分析する必要と考えられる。しかし、臨床では客観的な歩行分析機器はほとんど活用されていないうえ、歩行分析において歩行のインシデントの客観的分析法も確立されていない現状にある。

臨床現場において客観的分析を実践するうえでは、1)計測の省空間性、2)操作の簡便性、3)分析結果の臨床指向性が現実的要因として重要となる。

そこで、本研究では小型無線慣性センサーを用いた歩行インシデント分析システムの開発の発案に至った。小型無線慣性センサーは、広い空間を占有せずとも、身体に装着するだけで簡便に計測が出来る、歩行のインシデントとなる特徴として有用と考えられる時間因子、角度などの運動学的パラメータを分析することができる。これらのパラメータを用いて歩行中のインシデントの運動学的に定量化し、その発生頻度（インシデント出現数歩行量（全歩数）×100）を算出することで、臨床指向性の高い客観的歩行インシデント分析法になると考えた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、臨床で活用できる歩行のインシデント分析システムの開発の一環として、小型無線慣性センサーを用いて、臨床指向性の高い歩行のインシデント出現率の分析方法を開発することである。

3. 研究の方法（図 1）

本研究では、主に以下の点について検討を行い、新しい評価法の開発を試みた。

- 1) 健常者による異常歩行歩数検出口ジック
- 2) 各種インシデントの運動学的分析
- 3) 歩数検出とインシデント分析法の検証

1) 健常者による異常歩行歩数検出口ジックの検討

慣性センサーを用いてすり足、小刻み歩行などの異常歩行の歩数を検出するロジックを考案する。健常者を対象に第 7 頸椎棘突起、仙骨後面、両側の大腿部、足背部、踵部後面に慣性センサーを装着し、トレッドミル上にて通常歩行、低速度歩行、高速度歩行、小刻み歩行、引きずり歩行を行わせ、加速度、絶対座標に対する回転角を計測した。また、計測中は側方からビデオカメラで撮影し、目視にて実歩数を計測した。歩行速度は、通常速度、低速度歩行、高速度歩行はそれぞれ平地で計測した速度、小刻み歩行と引きずり歩行は 2km/h とした。歩数検出の可否の判定は、歩数判定率（慣性センサーから算出した歩数 / 実歩数 × 100）を算出した。

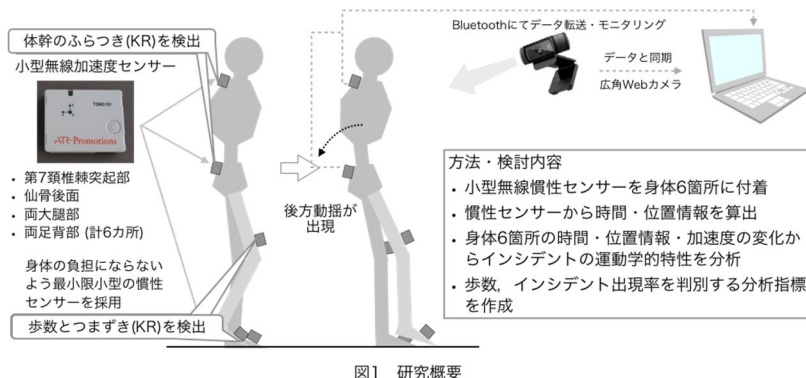


図1 研究概要

また、計測中は側方からビデオカメラで撮影し、目視にて実歩数を計測した。歩行速度は、通常速度、低速度歩行、高速度歩行はそれぞれ平地で計測した速度、小刻み歩行と引きずり歩行は 2km/h とした。歩数検出の可否の判定は、歩数判定率（慣性センサーから算出した歩数 / 実歩数 × 100）を算出した。

2) 各種インシデントの運動学的分析

各種インシデントの運動学的分析を検討するために、歩行中に発生頻度の高いインシデントを調査した。方法は実際に歩行練習中に転倒または転倒未遂が発生した脳卒中片麻痺者 70 名の動画を観察し、調査を行なった。調査方法は、歩行関連の研究に共に従事し、且つ経験年数 10

年以上の理学療法士 5 名に動画視聴させ、インシデントの発生原因となる現象を回答させた。その回答結果に基づき、5 名の理学療法士がノミナルグループ手法にて、類似した回答をグループ化し、現象を分類した。また、インシデントは、転倒に至る直前で理学療法士による介助を要した Fall と歩行練習中にバランスを崩したが、理学療法士が介助することなく患者が自ら立ち直り、歩行を再開できた事象を Near fall に群別し、検討した。さらに、この調査結果に基づき、健常者が歩行中に模擬的にインシデントを発生させ、運動学的分析として加速度データを用いて波形の特徴を検討した。また、Fall と Near fall の判定する加速度の基準値を探索的に検討した。

3) 歩数検出とインシデント分析法の検証

上記で検証した歩数検出と各種インシデントの運動学分析の手法をもとに、脳卒中片麻痺者にも同様の実験を行い、検証を行なった。

4. 研究成果

1) 健常者による異常歩行歩数検出ロジックの検討

第 7 頸椎棘突起、仙骨後面、両側の大腿部、足背部、踵部後面に慣性センサーを装着した結果、左右の大腿部に装着した慣性センサから得られる側方方向を軸とする矢状面上の回転角を採用し、高い精度の歩数検出ができた。算出方法は、1.5Hz ローパス処理済の鉛直軸に対する矢状面の回転角を微分し、負値から 0 (ゼロ) 値となる地点を一步とした。健常者 10 名を対象に計測した結果、歩数判定率はすべての歩行様式 (通常歩行、低速度歩行、高速度歩行、小刻み歩行、引きずり歩行) をにおいて 100%であった。

2) 各種インシデントの運動学的分析

歩行中に発生頻度の高いインシデントを調査した結果、70 名の歩行中の動画から 72 件の Fall と 41 件の Near fall と判定し、インシデントの発生要因となる現象は、立脚期の動揺 (立脚期の動揺は立脚期で重心が支持基底面から前後左右に偏移してふらつくことにより生じた現象)、膝折れ (立脚期で膝が屈曲することにより、重心が急激に下方に落ちることにより生じた現象)、爪先離地困難 (前遊脚期で円滑に爪先が床から離れないことにより生じた現象)、トゥクリアランス保持不全 (遊脚初期で一度爪先は離地するが、下肢を十分に前方に振り抜けず、すぐに足尖が床に接地することにより生じた現象) の 4 種類に分類することができた。Fall と Near fall における 4 種類の発生要因の内訳は、Fall の立脚期の動揺が 54 件、膝折れが 1 件、爪先離地困難が 16 件、トゥクリアランス保持不全が 1 件であった。Near fall においては立脚期の動揺が 19 件、爪先離地困難が 20 件、トゥクリアランス保持不全が 2 件であった。群相互間の比率の差は、立脚期の動揺と爪先離地困難において Fall と Near fall の比率に有意差を認めたが ($p=0.019$)、他の群相互間の比率に有意差は認めなかった。

以上の結果より、脳卒中片麻痺者の歩行中に生じるインシデントにおいて出現頻度の高い発生要因は、立脚期の動揺と爪先離地困難であることが明らかとなった。この結果をふまえ、健常者にこの二つの発生要因のインシデントを模擬的に行わせ、加速度データより運動学的特徴を検討した。両要因とも Fall は、仙骨後面に装着した慣性センサーの鉛直下方の加速度成分において低い振幅値を呈するとともに、定常状態時に繰り返される身体の上下運動で生じる加速度のピーク地の間隔が拡大する特徴が認められた。Near fall は、Fall と同様に鉛直下方の加速度成分では特徴は認められなかったが、最大値間隔が拡大する傾向は認めた。しかし、Near fall にて早期に立ち直り、歩行再開した場合は、定常歩行との区別は困難であった。Fall と Near fall の判定は仙骨部の加速度が $-5\text{m}/\text{sec}^2$ 以下を呈した直後から正值となる間の最小値をピーク値とし、Fall はピーク値平均 $\times 3$ で判定可能であったが、Near fall は判定基準の設定には至らなかった。

3) 歩数検出とインシデント分析法の検証

1) と 2) の結果に基づき、慣性センサーを仙骨後面と両大大腿部に装着し、歩行中の計測を行った。脳卒中片麻痺者 10 名を計測した結果、7 回のインシデントを計測できた。インシデントの内訳は、Fall が 4 件 (すべて立脚期の動揺)、Near fall が 5 件 (爪先離地不全 2 件、トゥクリアランス保持不全 5 件) であった。Fall の 8 件は、鉛直方向加速度の最小値によって判別することが出来たが、健常者のようにピーク値間隔では判別は困難であった (図 2)。Near fall に関しては、1 件は鉛直成分加速度のピーク値間隔の拡大で判別できたが、2 件は早期に歩行再開に至っていたため判別は困難であった。歩数判定率に関しては、9 例は 100%であったが、1 例は 115.9%であった。これは、麻痺側立脚中期に膝関節が大きく屈曲する現象を一步として、生じた誤差であることが確認できた (図 3)。

本研究の結果より、仙骨後面と両大大腿部に 3 つの慣性センサーを装着した計測によって、判定が困難する小刻み歩行やすり足を含めた歩数検出と、Fall を対象としたインシデント出現率の分析が可能となった。Near fall は振幅間隔で判定に活用するアルゴリズムが有用であったが、判定困難なケースも存在したため、Near fall の基準となる定義の再考とともにアルゴリズムを改良し、判別精度の向上させる取り組みが必要になると考えられた。

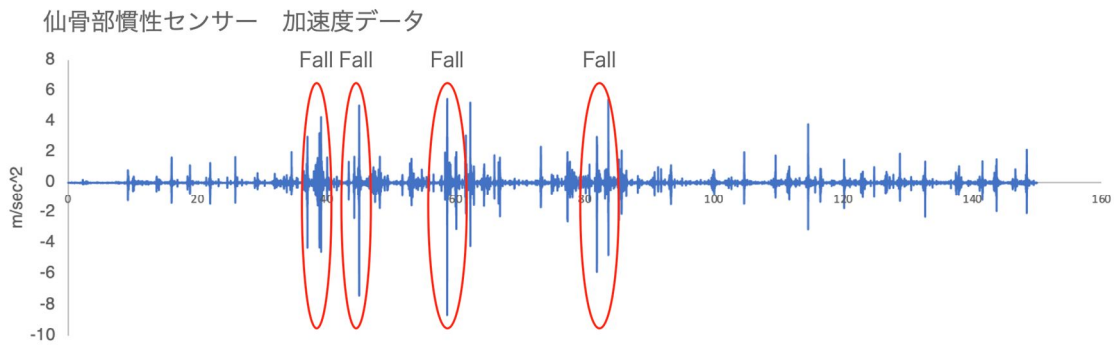


図2 Fallが多く発生した脳卒中片麻痺例

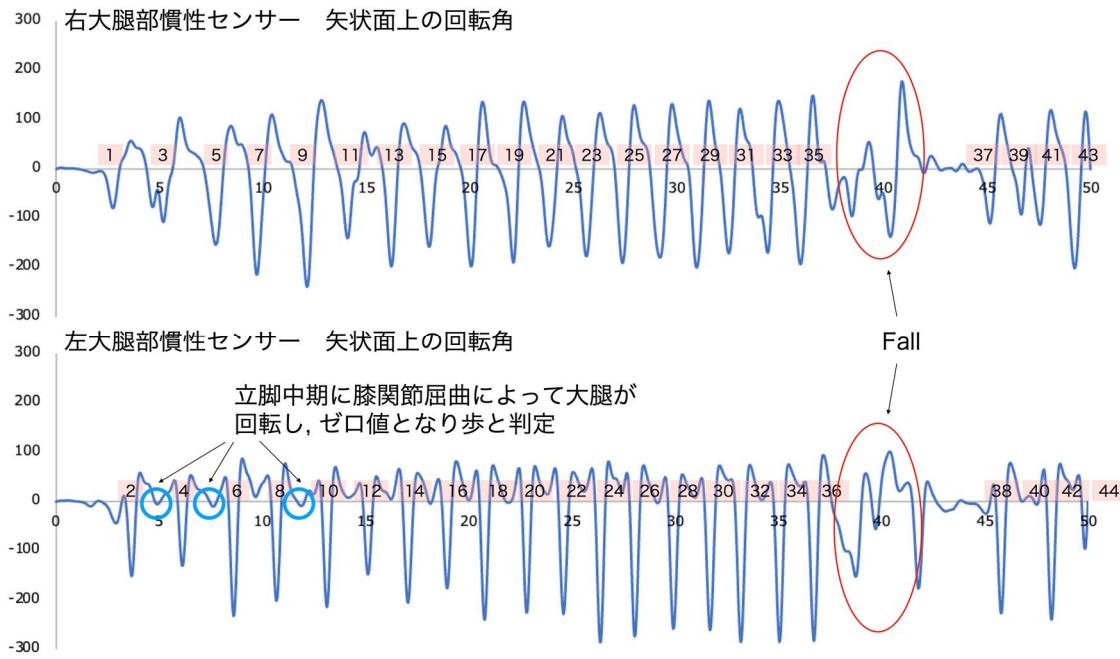


図3 歩数検出に誤差がデータ例（左片麻痺者）

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 加藤洋平, 大塚 圭, 松田 文浩, 山田 純也, 谷川 広樹, 土山 和太, 本間 友己, 加藤 正樹, 向野 雅彦, 才藤 栄一, 大高 洋平
2. 発表標題 脳卒中片麻痺者の歩行練習における転倒要因の検討
3. 学会等名 日本転倒予防学会 第8回学術集会
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
研究分担者	松田 文浩 (Matsuda Fumihiro) (30646998)	藤田医科大学・保健学研究科・講師 (33916)	
研究分担者	土山 和太 (Tsuchiyama Kazuhiro) (60780624)	藤田医科大学・保健衛生学部・助教 (33916)	

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