

平成 27 年 6 月 8 日現在

機関番号：82626

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2011～2014

課題番号：23680062

研究課題名(和文) 歩行中の転倒リスク評価・警告装置の開発 - 日常の歩容を見守ることによる転倒数減少策

研究課題名(英文) Development of fall risk evaluation system

研究代表者

小林 吉之 (Kobayashi, Yoshiyuki)

独立行政法人産業技術総合研究所・デジタルヒューマン工学研究センター・主任研究員

研究者番号：00409682

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 21,100,000円

研究成果の概要(和文)：転倒はすべての年代の人にとって減らしたい歩行中の事故である。本研究では、一般の人々が手軽に自分の転倒リスクを評価できるようにするために、『日常生活の歩容を見守り、転倒リスクを利用者にフィードバックすることで、転倒の発生件数を減少させる仕組み』を検討し、このような仕組みを実現する装置の開発することを目的とした。

本研究では、つまずきリスク評価装置の開発、主成分分析を用いた転倒経験者と非経験者の歩行特徴の可視化、身の回りに設置可能なセンサによる転倒リスクの評価という3つの課題に取り組み、力センサや加速度センサを用いた転倒リスク評価装置を開発した。

研究成果の概要(英文)：The falling of elderly people is a major public health problem around the world. This study aimed to develop a fall risk assessment system. We conduct following 3 studies: 1) development of trip risk assessment system using force sensors, 2) understanding of gait features of fallers, and 3) development of fall risk assessment system using an accelerometer. Based on the results of our study, we developed 2 types of fall risk assessment system: one with force sensors and another with accelerometer.

研究分野：バイオメカニクス

キーワード：バイオメカニクス 歩行 転倒 センサ デジタルヒューマンモデル

### 1. 研究開始当初の背景

転倒はすべての年代の人にとって減らしたい歩行中の事故である。毎年発行される厚生労働省の人口動態統計に着目すると、家庭内でのつまずき・すべり・よるめきを原因とした同一平面上での転倒によって亡くなっている人の数はこの10年で増加していることがわかる。

転倒のリスクは、筋力トレーニングや簡易的な装具などで改善されることが多くの研究によって報告されている。しかしこのような効果的な対策を利用する者は、健康維持や増進に関心の高い者であり、実際に対策が必要な転倒リスクが潜在的に高い者はあまり利用していないことが指摘されている。このような状況について我々は、現状では一般の人々が手軽に自分の転倒リスクを評価する方法が存在しないため、多くの者が自分に対策が必要であるのかそれともないのかを知ることができないためであると考えた。

### 2. 研究の目的

そこで本研究では、一般の人々が手軽に自分の転倒リスクを評価できるようにするために、『日常生活の歩容を見守り、転倒リスクを利用者にフィードバックすることで、転倒の発生件数を減少させる仕組み』を検討し、このような仕組みを実現する装置の開発することを目的とした。

上記の目標を達成するために、本研究では以下の3つの課題に取り組んだ。

①つまずきリスク評価装置の開発

②主成分分析を用いた転倒経験者と非経験者の歩行特徴の可視化

③身の回りに設置可能なセンサによる転倒リスクの評価

### 3. 研究の方法

①つまずきリスク評価装置の開発：床反力を用いて最小足部クリアランスを推定するためには、これまでの手法と同様、数多くの歩容を計測し、最小足部クリアランスと床反力との関係式を導出する必要がある。そこで本研究では、19~34歳(平均年齢±標準偏差24.2±5.0歳)の健常者15名(男性7名、女性8名)を対象に実験を行い、計205試行分の通常歩行時のデータを計測した。

データの計測にはモーションキャプチャシステム(Vicon Nexus, Vicon社)と床反力計(BP400600-1000PT, AMTI社)を用いた。各試行で最小足部クリアランスが計測できるように、被験者両足部の第一中足骨頭には赤外線反射マーカを貼付した。また、各試行で一歩行周期分の床反力が記録できるように、床反力計6枚を実験室中央に設置した。計測周波数は、モーション200Hz、床反力1000Hzとした。なお、実験は裸足で実施した。

被験者の体格(身長や体重)にはばらつきがあったため、足部の軌跡については身長で、また床反力については体重で基準化を行っ

た。また、一歩行周期に掛る時間も試行間でばらつきがあったため、床反力計上での最初の踵接地を0%、次の同側の踵接地を100%とすることで正規化した。そのため、各試行には最小足部クリアランスを説明できる可能性のある離散データが床反力x, y, z成分で計303個ずつ存在した。

これらのデータ(独立変数)で最小足部クリアランス(従属変数)を推定するために、線形の重回帰分析(ステップワイズ投入法)を行うこととした。回帰式の寄与率には、調整されたR<sup>2</sup>値を用いることとした。また調整されたR<sup>2</sup>値とは別に、導出された回帰式による推定の精度を確認するために、15名のデータを以下の2群に分け検証を行うこととした：a群(男性5名・女性5名、平均年齢±標準偏差24.6±5.3歳、133試行分、重回帰分析を実施)、b群(男性2名、女性3名、平均年齢±標準偏差23.4±4.6歳、72試行分)。a群とは異なる被験者の試行で重回帰式の精度検証)。推定の精度は、b群の各試行において最低足部クリアランスの実測値と推定値との絶対誤差を計算し、その平均値で評価することとした。

②主成分分析を用いた転倒経験者と非経験者の歩行特徴の可視化：本研究の被験者は37名の高齢者とした。このうち18名は過去1年間に転倒経験を持つ者であった。すべての被験者は2足での歩行が可能であり、裸眼もしくは矯正視力は正常であり、歩容に影響を与えるような神経筋疾患の既往歴を持たなかった。

実験は10m程度の歩行が可能な実験室で実施した。被験者の体表に貼付した赤外線反射マーカの三次元座標を、三次元動作計測装置(Vicon Nexus, Vicon社製)を用いて200Hzで計測した。このとき同時に床反力計(BP400600-1000PT, AMTI社製)を用いて歩行中の床反力を1000Hzで計測した。被験者らには、実験室の端から端まで裸足でまっすぐ歩行し、歩行時の速度や歩幅、視線などに関しては特に意識せず、普段通り歩行するよう指示した。

実験では各被験者5試行ずつ歩行を計測し、生データには4次のバターワースフィルタ(カットオフ周波数はマーカ座標10Hz、床反力56Hz)をかけ高周波成分を除去した。これらのデータからVisual 3D(C-motion社製)を用いて、右踵接地から次の右踵接地までの一歩行周期で時間正規化し、それを101等分(0~100%)したうえでそれぞれの時点における下肢3関節の関節角度(矢状面・前額面・水平面)を算出した。算出された各時点における関節角度については5試行分の平均値と標準偏差を算出し、主成分分析を行うために標準得点化した。

本研究では、37名×1818変数(3関節、3平面、101等分された平均値と標準偏差)のデータについて主成分分析を実施した。その際、サンプル数に比べて変数の数が非常に

多かったことから結果の不安定性が懸念された。そこでジャックナイフ法を応用して分析を繰り返し、安定性の確認を行った。

分析の結果得られた各主成分の主成分得点については、転倒群と非転倒群で t 検定を行い、群間の差を評価した。ここで有意差が確認された主成分についてはその主成分に関する動きを再構築し、特徴となる動きの解釈に用いた。更に、先行研究で転倒リスクに強く関連していることが報告されている MTC の平均値とばらつきについても、各被験者の各主成分得点との相関関係を求め、先行研究との整合性について検討することとした。なお各試行の MTC は先行研究に基づいて Beggらの手法 (1) によって取得した。また、本研究では MTC の平均値は 5 試行分の算術平均とし、ばらつきは 5 試行分の標準偏差とした。

③身の回りに設置可能なセンサによる転倒リスクの評価：本研究では、産総研デジタルヒューマン工学研究センターが持つ歩行データベースに登録されている高齢者 40 名分の歩行データを用いた。40 名のうち、20 名は計測前の一年間に転倒を経験した者であり、残りの 20 名は転倒を経験しなかった者である。

全データのうち転倒経験者 10 名、非経験者 10 名の計 20 名分のデータ (モデル構築群) を使ってモデルを構築し、残りの 20 名分のデータ (モデル評価群) を用いて、モデルを評価することとした。これは、我々が開発を目指す装置が、事前に計測した歩行データから、第 3 者の歩容を評価することを目指しているためである。

本研究で用いたデータは、各被験者が 10m の歩行路上を普段通り歩行した際に、被験者体表の計 57 か所に赤外線反射マーカを貼付し、次に記す機材でマーカの座標と、歩行中の床反力を計測したものである。計測には、モーションキャプチャシステム (Vicon MX, Vicon 社製, カメラ 13 台, 計測周波数 200Hz) と床反力計 (BP400600-1000PT, AMTI 社製, 計測周波数 1000Hz) を用いた。各被験者から 5 試行ずつ計測した。

計測されたデータの処理は次のように行った。まず生データから腰部及び下肢に貼付した各マーカの加速度を算出し、右踵接地から次の右踵接地までの一歩行周期で時間正規化し、それを 101 等分 (0~100%) することで、それぞれの時点における加速度を得た。次に 4 次のバターワースフィルタ (カットオフ周波数はマーカ座標 10Hz) をかけ高周波成分を除去した。最後に算出された各時点における加速度の 5 試行分の平均値と標準偏差を被験者ごとに算出した。なお、時間正規化とローパスフィルタの手続きは Visual 3D (C-motion 社製) を用いた。

以上の手順を経て得られた腰部及び下肢各部位の加速度を用いて、転倒リスクを評価するためのモデルを構築した。モデルの構築には、判別分析を用いた。転倒経験者の歩行

特徴に着目した先行研究 (7) では、転倒経験者は立脚後期から遊脚初期にかけて動作にばらつきが大きくなる傾向が報告されている。そこで本研究ではこの知見に基づいて、立脚後期から遊脚初期の加速度のばらつきなど、複数の変数を用意し、ステップワイズ法を用いてそれらの中からモデルを構築するのに適した変数を機械的に選択した。なお判別分析には SPSS 22 (IBM 社製) を用いた。

構築されたモデルの評価は、モデル評価群のデータを用い、感度 (転倒経験者を転倒リスクが高い群と判別する率) と特異度 (転倒非経験者を転倒リスクが低い群と判別する率) 及び全体の正答率を計算した。

#### 4. 研究成果

①つまずきリスク評価装置の開発：計算の結果、全 303 個の変数のうち、23 個が投入された重回帰式が導出された。この式の寄与率 (調整された R<sup>2</sup> 値) は 0.889 と高い値であったが、投入された変数が多かったことも原因として考えられるため、別途推定精度の確認も必要である。

そこで、重回帰式を導出した a 群とは別のグループである b 群を対象に、実測値と推定値との絶対誤差を比較した (図 1)。その結果、実測値と予測値の誤差は平均で 8.1mm であった。先行研究でつま先部の加速度を用いて最低足部クリアランスを推定した場合には推定誤差が 3.7mm 程度であったことを考えると、今回導出された重回帰式の推定精度が十分小さいとは言えない。しかし実測値と推定値の散布図に着目すると被験者内では再現性が高いことが確認された。このことから、今後はより多くのデータを用いて包括的な重回帰式を導出することで、推定精度を向上させることができると考えられる。

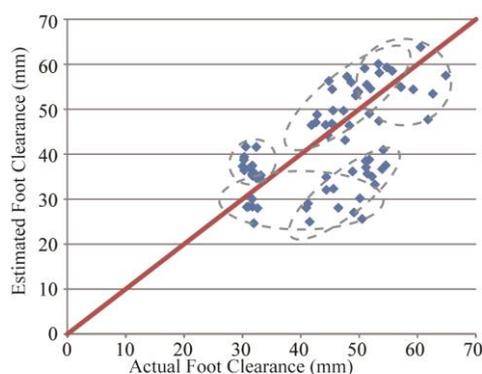


図 1. 推定されたつま先クリアランス (縦軸) と実際のつま先クリアランス (横軸)

②主成分分析を用いた転倒経験者と非経験者の歩行特徴の可視化：分析の結果、16 個の主成分で 80% 以上の特徴を説明できることが確認された。これらのうち第 6 主成分以降は 5% 以下の寄与率であったため、この先

の分析対象からは除外することとした。分析対象とした第1主成分から第5主成分のうち、転倒経験の有無によって主成分得点に有意差 ( $p < .05$ ) が認められたのは第5主成分のみであった。そこで第5主成分に関する動きを再構築した。その結果、転倒経験者の歩行は遊脚期全期間に亘って矢状面関節角度のばらつきが大きく、また立脚中期から後期にかけての前額面股関節及び足関節のばらつきが大きいという特徴を持つことが明らかになった (図2)。

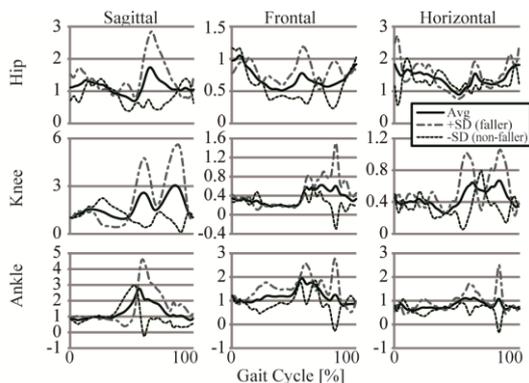


図2. 第5主成分から再構築した関節角度のばらつき

③身の回りに設置可能なセンサによる転倒リスクの評価：分析の結果、本研究で記した手法を用いることで、感度80%、特異度70%、全体の正答率75%の精度で転倒リスクを判別できることが確認された (表1)。

表1. 構築されたモデルの評価結果

	Fallers	Non-Fallers	Total
High Risk	8	3	11
Low Risk	2	7	9
Total	10	10	20
	Sensitivity=80%	Specificity=70%	

なお、本研究の成果は図3～4に示すような装置に実装され、現在国内の多くのメーカーとの共同研究に発展している。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計4件)

- ① 小林吉之, 柳澤孝文, 坂無英徳, 野里博和, 高橋栄一, 持丸正明, 公共空間における転倒の実態解明を目指した異常検出技術の評価に関する研究, 日本転倒予防学会誌, 1(1), 51-59, 2014.
- ② Yoshiyuki Kobayashi, Hiroaki Hobara,



図3. カセンサを利用した転倒リスク/歩行評価装置



図4. 加速度センサを利用した、スマートフォン内蔵型転倒リスク/歩行評価装置

Shiho Matsushita, Masaaki Mochimaru, Key joint kinematics characteristics of the gait of fallers identified by principal component analysis, J Biomech, 47(10):2424-9, 2014.

- ③ 小林吉之, 青木慶, 渋谷英次郎, 持丸正明, 床反力による最小つま先クリアランスの推定手法の提案, バイオメカニズム学会誌, 37(4), 233-242, 2013.
- ④ 小林吉之, 高橋健, 長尾裕太, 藤本浩志, ヒトが知覚しているつま先の高さとの誤差, バイオメカニズム学会誌, 37(2), 121-126, 2013.

〔学会発表〕 (計8件)

- ① 小林吉之, 坂無英徳, 野里博和, 高橋栄一, 持丸正明, 転倒の実態解明の必要性～異常検出技術の応用と今後への期待～, 特別セッション: 介護だけじゃない! 健康センシング, VIEW2014 精密工学会 画像応用技術専門委員会.
- ② 小林吉之, 保原浩明, 持丸正明, 身の回りに設置可能なセンサによる転倒リスクの評価 -主成分分析によって明らかとなった転倒経験者の歩行特徴を用いた手法-, バイオメカニズム学術講演会, 岡山, (11/2014).

- ③ Yoshiyuki Kobayashi, Hiroaki Hobara and Masaaki Mochimaru, Principal component analysis: joint kinematics features during overground walking in elderly fallers. Gerontechnology 2014, Taiwan, (06/2014).
- ④ 小林吉之, 保原浩明, 持丸正明, 歩行中の転倒リスク評価・警告装置の開発 4 – 主成分分析を用いた転倒経験者と非経験者の歩行特徴の可視化, 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 (LIFE2013), 山梨, (09/2013).
- ⑤ Yoshiyuki Kobayashi, Kei Aoki, Eijiro Shibusawa and Masaaki Mochimaru, DEVELOPMENT OF TRIPPING RISK EVALUATION SYSTEM INTERMS OF MINIMUM TOE CLEARANCE USING GROUND REACTION FORCE, XXIV Congress of International Society of Biomechanics, CD-ROM, Natal, Brazil, (2013).
- ⑥ 小林吉之, 青木慶, 持丸正明, 歩行中の転倒リスク評価・警告装置の開発 3 – つまづきリスク年齢をフィードバックすることによる MTC への短期的影響, 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 (LIFE2012), 名古屋, (11/2012).
- ⑦ 小林吉之, 青木慶, 持丸正明, 歩行中の転倒リスク評価・警告装置の開発 2 – クリアランスのばらつきと年齢との関係, 日本生活支援工学会第 4 回若手研究者発表会, 東京, (06/2012).
- ⑧ 小林吉之, 青木慶, 持丸正明, 歩行中の転倒リスク評価・警告装置の開発 – 床反力を用いたつま先クリアランスの推定, 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 (ABML2011), 東京, (11/2011).

研究グループ 主任研究員  
研究者番号: 00409682

[産業財産権]

○取得状況 (計 1 件)

名称: つまづきリスク評価装置、つまづきリスク評価システム及びつまづきリスク評価方法

発明者: 小林吉之, 青木慶, 持丸正明

権利者: 小林吉之, 青木慶, 持丸正明

種類: 特許

番号: 特開 2013-138783

出願年月日: 2012/1/4

取得年月日: 2013/7/18

国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ等

<http://www.dh.aist.go.jp/jp/research/health/koba/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小林 吉之 (Kobayashi, Yoshiyuki)

国立研究開発法人 産業技術総合研究所  
人間情報研究部門 デジタルヒューマン