

OS2-3

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

The system to evaluate the risk of falling during walking

-Estimation of minimum foot clearance (MFC) using floor reaction force

○ 小林吉之 (産総研) 青木慶 (産総研) 持丸正明 (産総研)

Yoshiyuki KOBAYASHI, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

Kei AOKI, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

Masaaki MOCHIMARU, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

Abstract: Minimum foot clearance (MFC) is an important variable when considering trip-related falls risk. However, it is still difficult to know one's MFC in daily living. Thus, this study aimed to develop the multiple regression models to estimate the MFC during walking, using floor reaction forces. Regression model has generated from 133 walking data measured from 10 participants. In each trial, we normalized the force data to 0-100 % from first heel-contact of measured limb to next heel-contact of same limb. Thus, we used total 303 force data (x, y, and z axis) for each trial as independent variables to generate the regression model. The adjusted R^2 value of the model was 0.899. Moreover, we tested the accuracy of the estimated value by using extra data (72 extra trials measured from 5 extra participants), and found that the average of the absolute errors between the actual MFC and estimated MFC was 8.1 mm.

Key Words: Floor Reaction Force, Minimum Foot Clearance, Regression Analysis

1. 研究背景

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。そのためこれまで様々な転倒予防策や健康増進策が提案・実施され、主に健康増進に対する関心が高い者に対して一定の効果が報告されてきた。しかし現状では、健康増進に対する関心が低い者に対しては特に対策が立てられていない。

人が転倒する最も主要な要因については、実際に転倒を経験した者に対するアンケート調査などによって、歩行中のつまずきであることが報告されている⁽¹⁾。そのため、遊脚期における足部と地面との距離（以下足部クリアランスと記す）を評価することで、歩行中のつまずきやすさを表すことができると考えられており、多くの研究者らによってつまずきやすい者の足部クリアランスの特徴が報告されている^(例えば2)。このような特徴は、大学や研究所に設置されているモーションキャプチャシステムなどの機器を用いれば意外と手軽に評価可能であるが、体重のように、日常生活で一般人が気軽に計測できるまでには至っていない。

一方、近年のセンサ技術の発展に伴い一般に普及しはじめた小型センサを用いて、足部クリアランスを日常生活中にも評価できる技術が提案され始めている。例えば Lai ら⁽³⁾は、つま先部の加速度 (Lai らはモーションキャプで計測したつま先部のマーカから、加速度を算出している) から次の一歩における足部クリアランスを推定する手法を提案し、この手法を用いれば 3.7mm 程度の誤差で推定できることを報告している。このような技術を用いることで、将来的には誰でも手軽に歩行中のつまずきやすさを測ることが可能となる。ただし加速度を用いて歩容を推定する場合、利用者は加速度計を身に付けなくてはならないため、これまで提案されてきた数々の健康増進策と同様、健康増進についての意識が高い者への対策となると考えられる。

最低足部クリアランスのような歩行の特徴量を推定する際に用いることのできるデータは、加速度だけではない。例えば青木らが既に歩行特徴量の抽出に用いている⁽⁴⁾床反力も、最低足部クリアランスに関連する足部の持ち上げ量に相関する部分があることが知られていることから⁽⁵⁾、

床反力を用いて最低足部クリアランスの推定に用いることができると考えられる。床反力の測定は、加速度計のように身に付けるようなセンサでは難しく、床などの環境に設置する必要があるが、その分一度設置されれば、健康増進についての意識が高くない者も含む、より多くの者に利用できる設備となる可能性がある。

そこで本研究の最終目標は、床反力を用いて最低足部クリアランスを計測し、転倒リスクを評価する装置を開発することとした。本稿ではその第1段階として、床反力を用いて足部クリアランスを推定する計算式の検討・開発を行った。本研究で検討・開発された計算式を用いることで、将来的には床反力を現場で計測するだけでその時の最低足部クリアランスを推定することができるようになり、転倒リスクの早期発見に用いることができると考えられる。

2. 方法

2-1 データ取得方法

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 (平均年齢土標準偏差 24.2±5.0 歳) の健康者 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。

2-2 データ分析方法

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^2 値を用いることとした。また調整された R^2 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群に分けて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。

3. 結果と考察

図1及び図2に実験の結果を示す。図の横軸は各試行で計測された最低足部クリアランスの実測値を、縦軸には導出された重回帰式から得られた推定値を示す。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（図1）。この式の寄与率（調整された R^2 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、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2。図中に記した楕円は各被験者の分布を示す）。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⁽⁴⁾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（図2）に着目すると、図1よりも幅広くばらついているものの、被験者内では再現性が高いことがわかる。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。

上述の通り床反力を用いた最低足部クリアランスの推定は、加速度計のように身につけるようなセンサでは難しく、床などの環境に設置する必要がある。しかし一度設置されれば、健康増進についての意識が高くない者も含む、より多くの者に利用できる設備となる可能性がある。例えば駅の自動改札機の床面に設置することで、交通系 ID カードと共に個人の健康管理サービスなどに応用することも可能である。

4. まとめ

本研究は、歩行中のつまずきやすさを表す足部クリアランスを、日常生活で誰でも気軽に測れるようにするために、環境に設置しやすい力センサから得られる床反力で推定する計算式の開発を行った。その結果、調整された R^2 値 0.899 という高い寄与率の重回帰式が導出され、同年代の他群で精度の検証を行ったところ、絶対誤差の平均値 8.07mm であった。

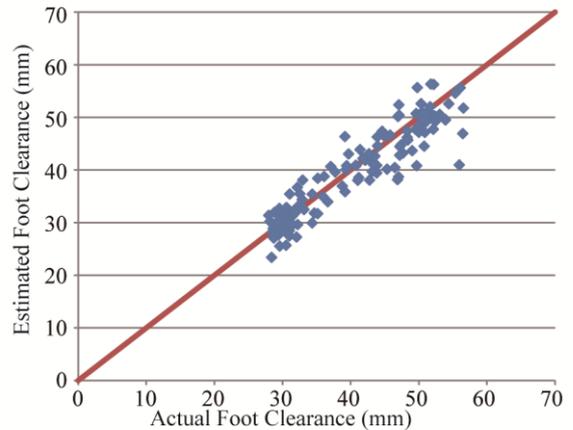


Figure 1 Estimated MFC and Actual MFC for group A

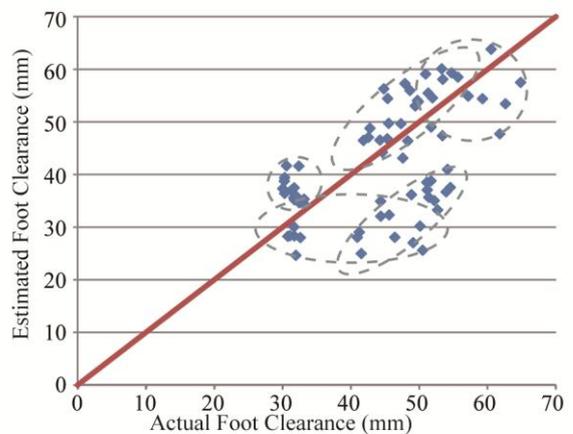


Figure 2 Estimated MFC and Actual MFC for group B

参考文献

- (1) 近藤敏, 宮前珠子, 堤文生, 在宅高齢者の転倒と転倒恐怖, OT ジャーナル, 33, pp.839-844, 1999.
- (2) Mills PM, Barrett RS, Morrison S, Toe clearance variability during walking in young and elderly men, Gait Posture, 28, 1, pp.101-107, 2008.
- (3) Lai DT, Taylor SB, Begg RK, Prediction of foot clearance parameters as a precursor to forecasting the risk of tripping and falling, Hum Mov Sci, in press.
- (4) 青木 慶, 土井 正裕, 酒井 健作, 健康サービス産業における歩行評価システムの開発, 第 30 回バイオメカニズム学術講演会 SOBIM2009 予稿集 30, pp.53-56, 2009.
- (5) Patla AE, Prentice SD, The role of active forces and intersegmental dynamics in the control of limb trajectory over obstacles during locomotion in humans, Exp Brain Res, 106, 3, pp.499-504, 1995.

謝辞

本研究はH23年度 日本学術振興会 科学研究費補助金（若手A）：「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」の一部助成を受けて実施された。