

21305 歩行における転倒挙動検知に関する研究

A study of the detection of the fall action in a walk

○学 足立渚 (横浜国大)

正 高田一 (横浜国大)

正 松浦慶総 (横浜国大)

Nagisa ADACHI, Graduate School of Yokohama National University, 79-5 Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama

Hajime TAKADA, Yokohama National University, 79-5 Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama

Yoshifusa MATUURA, Yokohama National University, 79-5 Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama

In recent years, aging has been deteriorating rapidly. And people concerned about how to prevent bedridden gradually. One of big cause of the bedridden is the injury by fall in walk, so we wanted to detect a timing of the fall for preventing that injury. For considering the movement of walk and fall, we measured a position of knee, waist and center of the gravity by using a position sensor and a force plate. From the result of experiment of walking, we found that the direction-of-movement speed of a knee became 0m/s when people stumbled. And we also found that a vertical direction speed of a knee became larger than that in a walk.

Key Words: Welfare engineering, Ergonomics, Elderly, Walking, Falling

1. はじめに

日本における高齢化は急速に進み、高齢になっても健康で自立して生活すること、特に寝たきりを防ぐ方法に多くの関心が集まっている。寝たきりの大きな原因の一つは歩行時の転倒による足の骨折である。先行研究で高齢者の動きから転倒「した」ことを検知するシステムの開発は多く行われてきたが、転倒の瞬間を検知することに関する研究はまだ乏しい現状がある。

自然な歩行は先行研究より、身体の重心の移動に対して脚を振り出すことで行われることが分かっている。そこで本研究では、転倒とはその重心移動に応答する脚の振り出しが十分でないときに起こると仮定し、歩行時と転倒時における重心移動と脚の動きを観測することで、転倒挙動の特徴を見出し定量的に転倒の瞬間を検知することを目的とする。

2. 実験

転倒の要因は様々存在するが、今回は前方歩行時の躓きによる転倒の挙動に限定して考察を行う。また本研究の将来的な目標は高齢者の転倒を防ぐことであるが、高齢者による転倒模擬実験は重大な怪我の危険があるため、実験はすべて若年者で行う。意図的に転倒状態を発生させ、転倒を回避しようとする脚(応答脚とする)の応答がどのように行われるのかを、重心位置と応答脚の腰部・膝部位置および角度を計測、速度や加速度を算出し考察を行う。

2-1 実験装置

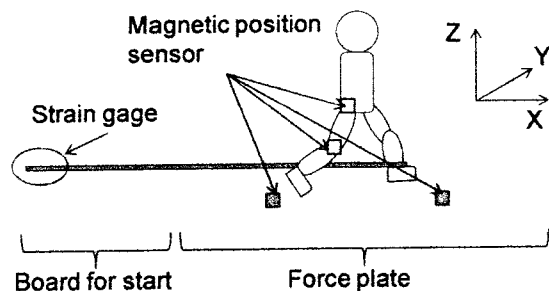


Fig.1. Outline of experimental device

実験装置概略を Fig.1 に示す。重心の移動は、ロードセル

を、木板下の四隅に配置して作成した床反力計(1m×2)にて荷重を測定したのち、それを重心計算することによって得る。応答脚の腰部・膝部挙動は被験者の右腰部と右足膝部に磁気位置センサのレシーバを取り付け、単位時間当たりの3次元位置および角度を測定することによって得る。定常歩行を測定するため、床反力計の前に計測機器のついていない木板を用意し助走区間とした。また転倒実験では被験者の脚に長さの決まった紐をつけることで定点以上前に進めない様、脚の動きを妨げ転倒を起こさせるが、その紐の固定端にひずみゲージを取りつけることでその出力より転倒発生時刻を判断する。

2.2 応答脚観測のための転倒方法の決定

応答脚の観測のために被験者を転倒させる方法について、被験者2名による予備実験を行った。被験者の脚に紐をつけ自由に歩行してもらい、さまざまなタイミングで紐を引くことで脚の動きを妨害し、その応答を観察するとともに不安を感じ自然な転倒挙動をしたか主観評価により調査した。結果、遊脚をしている時間の中央(遊脚期中央とする)で遊脚の進行を妨害するのが最も不安を感じ自然に転倒の様な挙動を発生させられるということが分かった。再現性のある実験を行うために紐の長さを決め、進行妨害位置を固定する。進行妨害位置が遊脚期中央になるよう転倒位置には高さ3cmほど(歩行には支障がない高さ)の障害物を置くこととした。それを乗り越えるよう指示することで遊脚期中央での妨害が実現できることを確認した。

また、本来の前方歩行中の躓き転倒は、つま先の進行が妨げられることによって生じるが、つま先を紐で引く力は足首の回転力に変化し、若年者の強い力による脚の動きを十分に止めることができないため、足首を固定することとした。

2.3 本実験

2.3.1 歩行計測

被験者には3mの歩行を要求する。初めの1mは助走歩行として計測はせず、あとの2mの定常歩行を床反力計と磁気センサによって計測する。被験者には後述の転倒実験で転倒を誘発しやすいように、また転倒発生位置までの挙動を合わ

せるために、計測範囲2mをおよそ4歩で歩行するよう、着地点の目安をあらかじめ示す。

2.3.2 転倒計測

歩行計測同様、被験者には助走歩行からの自然な歩行を要求するが途中で被験者の足首につけた長さの決まった紐によって、脚の動きを妨害し転倒を誘発、応答脚の挙動をセンサにより測定する。転倒の観測は①妨害脚側の腰部・膝部挙動を観測する実験(fall0) ②応答脚側の腰部・膝部挙動を観測する実験(fall1) ③fall1同様、応答脚の挙動を観測するが、被験者である若年者に本研究の目的となる高齢者模擬用の重り2kgを足首に乗せた状態での歩行を要求する実験(fall2)の3通り行った。

被験者にできるだけ自然な転倒をしてもらうため、歩行2回と転倒3回を行うことのみを被験者には伝え、転倒の発生はその順序による影響を避けるためランダムに行った。

3. 結果と考察

3.1 転倒検知までの時間について

転倒実験の結果から、転倒を誘発させて転倒し膝や手をつくまでの時間は約1秒であることがわかった。また、転倒を誘発させたが応答が十分であり、転倒をこらえた場合、応答脚が着地するまでの時間は約0.5秒であった。これより、十分な応答が得られるかは0.5秒以内に判断できると考えられる。従って、本研究において観察する転倒挙動は転倒誘発から1秒までとし、転倒発生から検知までにかかる時間は0.5秒以下を目指す。

3.2 転倒検知

本研究での転倒検知は二つの検知から構成する。はじめに脚の動きの妨害による転倒危険の検知、そして身体の不安定を解消するために出される応答脚の不十分な応答の検知、この二つが検知された時、転倒は起きると考える。

まず身体の不安定性の検知について、fall0実験8試行での妨害脚側の観測結果から、転倒を誘発させた時刻から平均0.08秒(標準偏差0.012秒)で膝部進行方向速度が0m/sになることが分かった。膝部進行方向速度が0m/sになるということは、すなわち進行を阻害されている状態であるから、転倒危険を正しくとらえるパラメータの一つであると考えられる。また、0.08秒は、検知目標時間に対し十分短いと考えた。実験結果の例をFig.2に示す。進行方向速度が負になっているのは実験で脚の動きを妨害する紐が伸縮し膝部が引き戻される挙動を示すためである。

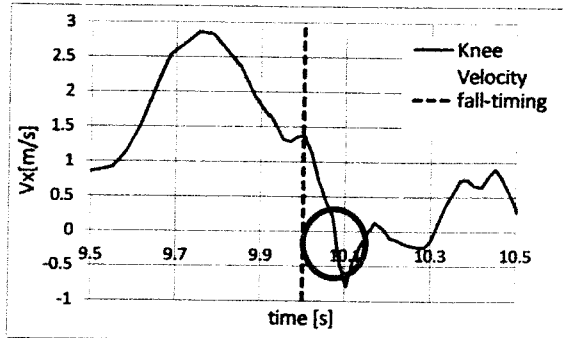


Fig.2. Detection of fall dangerous by knee velocity

次に応答脚膝部の挙動を、歩行時との違いについて、および転倒をこらえられる十分な応答と転倒してしまう不十分な応答の違いについて述べる。Fig.3およびFig.4は転倒時の応答脚の速度変化を示したもので、破線で示しているのが転倒

をこらえた(十分な応答をした)結果(4試行)、実線で示しているのは手をつく、膝をつくといった転倒の結果(5試行)である。

歩行は単脚支持期と両脚支持期の繰り返しのリズムより行うことによって実現される。歩行実験5被験者分5試行の結果から膝部進行方向速度は0m/sより大きく約2.5m/s以下の範囲で変動することがわかった。また膝部鉛直方向速度は約-0.5m/sから1.0m/sの範囲で変動することが分かった。転倒時の応答(合計9試行)をこの歩行時の挙動と比較すると、鉛直方向には速度の増加が見られた。これは、とっさに脚を大きく前に振り出すためには通常の歩行より脚を持ち上げる動きが必要であることを示していると考えられる。

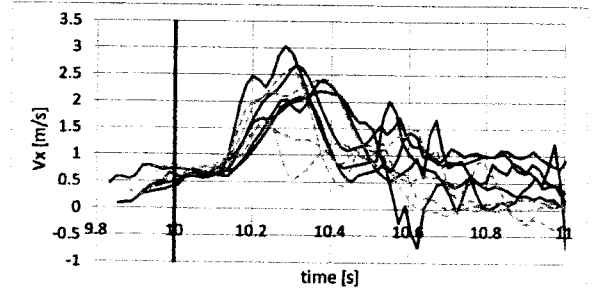


Fig. 3. The X direction velocity change of knee in fall

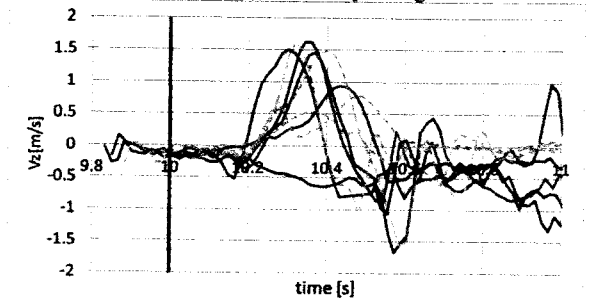


Fig. 4. The Z direction velocity change of knee in fall

次に、転倒を起こす不十分な振り出しについて考察する。膝部の鉛直方向変化を見ると、転倒を防いだ被験者は転倒が生じてから0.2秒後以内に速度が増加し始めているのが分かる。0.2秒以内に速度が増加しなかった1試行で、この被験者はそのまままったく脚を持ち上げることができず、膝をつく転倒を起こした。転倒を起こしてから0.2秒後、すなわち先に述べた転倒危険検知から0.1秒後の挙動を観察することは、一つの有効な手段と考える。しかし現時点での解析では、この様な転倒時の特異的な挙動以外は転倒を分けることができていない。それは転倒をこらえるにも転倒にも、多くの場合分けが必要であることを意味すると考える。例えば転倒をこらえた場合の膝部の進行方向速度変化を見ると、速度が2.5m/s近くまで増加している場合と、1.5m/sまでしか増加していない場合が見いだせる。この違いは歩行周期のどのタイミングで進行の妨害を受けたかに由来すると考えられる。歩行周期のどのタイミングで躓きを起こしているか等で場合分けをして、よりよい考察を目指す。

4. まとめ

磁気位置センサと床反力センサによる脚の歩行時と転倒時の挙動の違いを観察し、転倒を防ぐ挙動が0.5秒以内に安定化していることを見出した。また、転倒を検知し転倒による危険を防ぐには片方の膝部進行歩行速度が0m/sになり、その後約0.1秒以内に他方の膝部鉛直方向速度が正方向に増加し始めることが必要であることを見出した。