

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 23 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K16397

研究課題名(和文)屋外の歩行を疑似体験可能なトレッドミル型歩行リハビリシステムの開発

研究課題名(英文)Gait Rehabilitation System Based on Control Treadmill for Simulated Fall

研究代表者

中島 康貴(Nakashima, Yasutaka)

九州大学・工学研究院・助教

研究者番号：00632176

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,800,000円

研究成果の概要(和文)：現在、要介護者の増加が社会問題となっており、その原因の一つとして、転倒による外傷や骨折で寝たきりの状態になることが挙げられている。この転倒のリスクを最小限に抑えるためには、医師や専門家が転倒のリスクを事前に判断し、本人へ提示することが重要である。本研究では、転倒のリスクを安全かつ事前に提示可能なシステムの開発を自指して、屋外の歩行を疑似体験可能なトレッドミル型歩行リハビリシステムの開発した。具体的には、より自然な歩行と転倒現象を再現するために、ヒトの自然な歩行に追従して回転するトレッドミルの開発と、そのトレッドミルの左右のベルト速度を変化させることで、自然な転倒現象を再現した。

研究成果の概要(英文)：We analyzed lower-limb motion following a slip and fall stimulus produced using a pulled free-walking system consisting of a controllable split-belt treadmill, where a speed difference between the belts could be applied to produce a slipping motion. In three male participants, we established slip motion by applying acceleration in the sagittal plane direction of the right leg immediately upon contact with the treadmill. Each participant demonstrated a different recovery method from falling. In the future, the authors will conduct this experiment not only for young healthy people but also for the elderly and verify if a similar trend can be observed.

研究分野：福祉工学

キーワード：歩行 トレッドミル 転倒

1. 研究開始当初の背景

近年、超高齢社会に突入した日本だけでなく、高齢化を抱える先進諸国においても、要介護者の増加は重要な問題とされている。要介護の原因として、様々な疾病が挙げられているが、日常動作である歩行中の転倒は非常に多く、大腿骨の骨折や筋の損傷などを引き起こし、その後のリハビリだけでなく、ADLの低下につながってしまう可能性が高い。

そのような中で、歩行中の転倒を疑似的に再現し、その際の動作分析を行う研究が様々取り組まれている。田中らは視覚へ強い光を提示することで、刺激を構築し、踏み出し時の下肢の反応時間を計測し、高齢者と若年者の反応速度について考察している。また、長谷川らは床反力計上に障害物を設置し、それにつまずいた被験者の動作を三次元計測装置から解析を行っている。しかし、これらの方法では、転倒動作の中でも 25[%]を占めるといわれている。踏み出した前足が接地した直後、矢状面方向に滑るといった、滑り転倒の再現が出来てはいない。

そのような流れに対し、中俣らは歩行面に摩擦係数の異なるシートを貼り付ける手法や、大淵らがトレッドミル上で速度の変化を与えることで、滑り刺激を構築し、その訓練を行うことで高齢者の動的バランス能力が改善されたことを報告している。しかし、大淵らのトレッドミルで転倒刺激を与える従来の研究においては、転倒刺激そのものについて詳細に検討が行われていない。転倒刺激として、ベルト速度を 1.0[m/s] 瞬間的に変化させる 1 条件であり、実際のヒトの転倒動作に注目した滑り転倒を再現することは困難である。そのため、トレッドミル環境下で滑り転倒動作を再現できる転倒刺激の方法を考える必要がある。

2. 研究の目的

以上のことから、従来研究では転倒動作の動作分析が未だ不十分であり、また平地のように加減速歩行が可能なトレッドミル上での転倒刺激についての研究がなされていない。そのため、本研究では制御が可能なトレッドミルを用いて、屋外での滑り転倒を再現するシステムの開発を目的とする。具体的には、被験者がトレッドミルを歩行中に、左右のベルトに速度差を与えることで、日常の転倒動作を再現する刺激を提示する。

3. 研究の方法

上記の目的に対して、トレッドミル上において搭乗者の意図した加減速歩行が可能なシステムを開発し、実際の滑り時の支持基底面に基づいた滑り転倒刺激の手法を構築してきた。このシステムでは、後方から牽引するワイヤの移動量に応じてベルトの加減速を制御している。また、片側のベルト速度のみを変化させることで実際の滑り時の支持基底面に基づいた滑り転倒を再現する刺激

手法を構築した。

(1) 搭乗者の意図した加減速歩行が可能なトレッドミル

本研究では、滑り転倒動作を再現する前段階として、平地のように被験者が任意で加減速歩行ができるトレッドミルを開発した。歩行速度に追従してベルト速度が可能な制御である。具体的には、被験者の後方からワイヤで牽引し、そのワイヤの矢状面方向の移動量に応じてトレッドミルのベルト速度の制御を行った。

(2) トレッドミルの左右のベルト速度差を用いた滑り転倒刺激手法

滑り足は踵接地の瞬間から前方へ滑り出し、非滑り足は転倒刺激の前後の瞬間において移動せず静止している現象を左右分離型トレッドミルのベルト速度を制御することで再現した。この現象を再現するためのベルト速度制御について、まずは滑り足側のベルト速度制御から説明する。滑り足側の制御は福井の従来手法と同様に行った。滑り転倒刺激として、滑り足が前方に移動する挙動はベルトを逆回転させることで再現した。踵接地の瞬間からなめらかに滑る現象を再現するためには、滑り足接地の時点で既にベルトは逆回転している必要がある。そのため、滑り足が離地するのを検出し、離地後ベルトを逆回転させ、接地時には目標の速度となる従来通りの制御を行った。このときの目標とする逆回転の速度は中俣らの研究を参考に -1.0[m/s] に設定した。中俣らのデータによると転倒群において、滑り始める瞬間の滑り足部速度は約 0.90[m/s] であり、その 0.10[s] 後は約 1.8[m/s] であった。またこれまでの著者らの研究と同様、滑り足に瞬間的な外力を与えるために、滑り足接地直後に 0.10[s] 加速度を進行方向に加えた。この時の加速度も上述のように考え $10[\text{m/s}^2]$ に設定した。つまり、滑り足部が踵接地後 1.0[m/s] で前方へ滑り出し、0.10[s] 後に 2.0[m/s] となるようにベルト速度制御を行った。

(3) 滑り転倒刺激の検証実験

本実験の目的は、滑り転倒刺激に対して、転倒するかしないかに重要な役割を果たしている特徴的な回避動作を、滑り転倒のメカニズムに沿って考察し、たてた仮説を定量的に計測・解析し実証することである。

本実験では、若年健常者 3 名を被験者とした。計測には 3 次元動作解析装置(Optitrack[®])を用い、転倒回避動作を計測した。被験者には赤外線反射マーカーを付け、その位置は右大転子、右膝裂隙、右外果に貼付した。また、室内での滑りを想定しているため、計測は靴下で行い、安全のためサイクル用のヘルメットを着用させた。実験前にいくつかの指示を行った。まず、安全上手すりを使用するが、歩行時や転倒回避動作への影響を極力少な

くするため、歩行時には最も力が入らないリラックスできる位置に手を置き、手すりは触るが握らないこと、転倒刺激後もできるだけ握らず自力で回避するように指示した。また、目線は前方の印を注視させた。実験を行う前に、数回トレッドミル歩行を行い、トレッドミルでの自由歩行に慣れさせた。実験時にも、一定時間以上歩行を行い、歩行が安定したタイミングで転倒刺激を予告なく行った。転倒刺激から次の転倒刺激までは一定の時間を置き、慣れや心理的影響が少なくなるよう考慮した。また、刺激加速度 a [m/s²] は 1.0, 10, 20 の異なる 3 つの条件で実験を行い、1 条件につき 5 試行した。

4. 研究成果

滑り足膝関節角変化は、転倒刺激から 0.20 [s] 後までを解析した。転倒刺激後手すりを強く握るまでの時間が映像からおおよそ 0.20 [s] であったため、転倒刺激から 0.20 [s] までとした。モーションキャプチャによって得たデータから、下図のように関節角を設定し、転倒刺激発生時の膝関節を基準の角度 (0 [deg]) と設定した。3 人の被験者の、滑り転倒刺激発生後における滑り足膝関節角の変化から、被験者 A, B は滑り発生後に滑り膝の過伸展が発生していることが分かる。その後両被験者ともに膝を屈曲している試行が多くみられた。また、両被験者を比較すると、被験者 A の膝の屈曲は角度が大きく角速度も速いことが分かる。被験者 C については、滑り発生後に滑り膝の過伸展が発生せず、屈曲のみ発生している試行もみられた。また、3 人の被験者とも、刺激加速度による結果の変化はみられなかった。仮説の通り、同一の転倒刺激に対して 3 人の被験者は、滑り発生後の膝関節角度変化において、特徴的な相違を示した。また、それらの相違は 5 回の試行を通してみられ、被験者の特徴としてみなせると考えられる。今回の実験で、仮説は実証される結果となった。また、被験者 C において膝関節が過伸展しなかった原因は、膝がりきんでいるためだと考えられ、共同収縮によるものだと考えられる。高齢者に多くみられるこのような共同収縮も考慮して、今後検討していく必要がある。

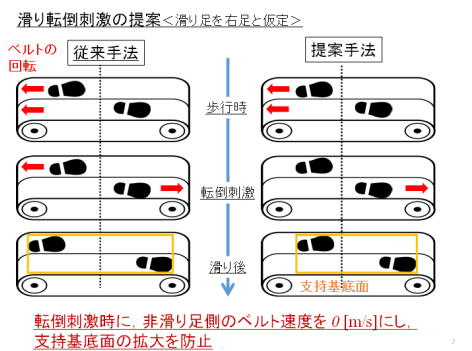


図 1 実際の滑り時の支持基底面に基づいた滑り転倒を再現する刺激手法

解析手法

- 転倒刺激時の膝関節角度を基準 (0 [deg]) と定義し、刺激時から 0.2 [s] 後までの波形に注目

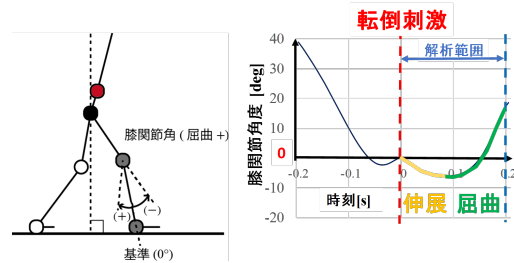


図 2 膝関節角度に注目した解析

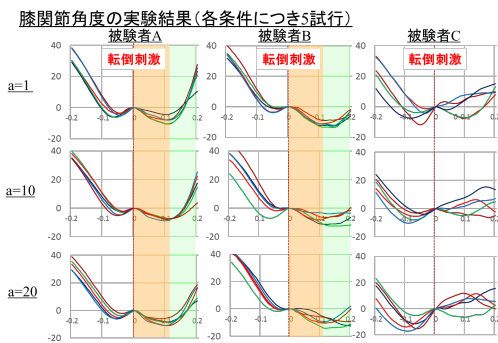


図 3 膝関節角度の実験結果

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 6 件)

1. 植木真太郎, 中島康貴, 山本元司, トレッドミルを用いた滑り転倒刺激実験による床反力に基づいた転倒回避動作の解析, 第 17 回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会 (SI 2016), pp. 314-316, 札幌コンベンションセンター (北海道), Dec. 15-17, 2016.
2. 中島康貴, 能塚寛紀, 山本元司, 膝関節角度に基づいた転倒回避動作の解析, 日本機械学会 2016 年度年次大会 (JSME 2016), G1500205, 九州大学 (福岡), Sep. 11-14, 2016.
3. Yasutaka Nakashima, Hiroki Noutsuka, Takanori Fukui, Motoji Yamamoto, Split-Belt Controllable Treadmill with Differential Velocity-Based Fall Stimulation and Motion Analysis, Proceedings of the 2016 IEEE / EMBS 38th Annual International Conference of the Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC 2016), ThBT 12.1, Orland, USA, Aug. 16-20, 2016.
4. Yasutaka Nakashima, Takanori Fukui, Motoji Yamamoto, Fall Stimulation Method

Based on Differential Velocity of Split Belt Treadmill, World Automation Congress (WAC) 2016, 15th International Symposium on Robotics and Applications (ISORA 2016), 1570244026, Puerto Rico, Jul. 31-Aug. 4, 2016.

5. 中島康貴, 能塚寛紀, 福井教文, 山本元司, トレッドミルの左右の速度差を用いた滑り転倒刺激手法の開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH 2016), 2A1-02b5, パシフィコ横浜 (神奈川), Jun. 8-11, 2016.
6. 中島康貴, 福井教文, 山本元司, 制御可能なトレッドミルを用いた左右のベルト速度差による転倒刺激手法の提案, 第33回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ 2015), 2A1-02, 東京電機大学(東京), Sep. 3-5, 2015.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中島 康貴 (NAKASHIMA, Yasutaka)
九州大学・大学院工学研究院・助教
研究者番号：00632176

(2) 研究協力者

福井 教文 (FUKUI, Takanori)

(3) 研究協力者

能塚 寛紀 (NOUTSUKA, Hiroki)

(4) 研究協力者

植木 真太郎 (UEKI, Shintarou)

(6) 研究協力者

山本 元司 (YAMAMOTO, Motoji)
九州大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号：90202390