

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K01566

研究課題名(和文) 滑り転倒現象を再現したトレッドミル上での刺激強度の違いによる転倒回避動作の解析

研究課題名(英文) Analysis of Fall Avoidance Strategies with Experiments during the Applied Stimulation of the Slipping 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) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：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目指して、屋外での摩擦が異なる路面状態での滑り転倒現象を再現したトレッドミルの歩行システムの開発と、実際の転倒回避動作に基づいた新たな転倒リスクの評価指標の確立を行った。特に転倒リスクの評価では、滑り転倒時の股関節角度を制限することで、戦略を分類する実験を行い、それぞれの戦略をもつ被験者では滑り転倒時の安定性、転倒リスクが異なる可能性があることを回避動作中のCOM位置と速度を用いたモデルから確認した。その結果、股関節の屈曲を戦略にもつ被験者は伸展を戦略にもつ被験者と比べて、安定性が低いことが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、転倒リスクを安全かつ事前に提示可能なシステムの開発に必要な要素技術である。今後開発するこのシステムが普及することで、これまで医師や専門家が事前に判断することが難しかった、個人の身体能力や転倒リスクを屋内で事前かつ安全に判断することができ、バランス能力等などの指標に基づいた訓練手法が本人に最も効果的であるか選択し、提示を行うことができる。また、この成果は、ヒトの運動機能の定量化とヒトの運動に応じた機械の制御技術の確立に結び付き、超高齢社会に突入した我が国の多くの高齢者が安全また快適に生活ができるように機械やロボットでアシストする際の技術に応用が可能である。

研究成果の概要(英文)：In this study, we analyze fall avoidance strategies with experiments during the applied stimulation of the slipping fall. The objective is a verification whether a fall avoidance movement in a single subject will be changed or not changed by the difference of experimental conditions. There are two conditions in these experiments. One is restrained of subject's movement by a string. The other is increased a intensity of the applying stimulus in experiments. In restrained the condition, caused by limited lowly angle of the shoulder joint and the hip joint, a subject cannot swing a upper limb and a lower limb like a usual in the forward and backward direction. As a result, in restrained the condition caused by limited lowly angle of the shoulder joint and the hip joint, one subject had fallen in the first half of the trial, but could avoid fall in the latter half of the trial.

研究分野：医療福祉工学

キーワード：転倒リスク評価 滑り転倒刺激 トレッドミル 加速度 動作解析 可動域 COM 安定性

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、高齢者など、転倒リスクが高い人の転倒事故を防ぐ事が重要視されている。転倒リスクとは、人の転倒しやすさを表す指標である。転びやすい人から優先して転倒予防策を用いることで、効率的に転倒による負傷者を減少させることにつながると考えられる。しかし、どのような人の転倒リスクが高いかは未だ不明である。

転倒リスクを評価する手法として、過去の転倒歴などの質問を用いたスコアシート方式[1]や、二重課題の処理能力を測る方法[2]などが行われてきた。また、高齢者と若年者の歩行中の COM (Center of Mass) の速度や加速度などを直接計測し比較、評価する手法が挙げられる。しかし、これらの方法は実際の回避動作を評価していないため、転倒リスクの直接的な評価ではないと考えられる。

それに対して、実際に転倒を引き起こすような強い外乱として刺激(以下、転倒刺激とする)を与えた際の動作解析を行い評価する手法が行われている。こちらの手法では、人工氷の設置、床反力計の表面に摩擦係数の異なるシートの貼り付け、歩行中に前方から強い光の提示など、実際の転倒現象を再現するための刺激手法を提案している。しかし、いずれも、被験者自身が事前に刺激のタイミングを予測しやすいため、不意に発生する日常の転倒現象を再現することは出来ていない。

2. 研究の目的

そこで、本研究では、後方への滑り転倒を防止するために、実際の滑り転倒現象を再現したシステムの開発と、システムにより与えた転倒刺激の際の回避動作に基づいた転倒リスク評価を最終目標とする。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目指して、屋外での日常の転倒を再現した、トレッドミルによる滑り転倒刺激手法の構築を行う。より自然な転倒刺激を再現するために、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、日常の滑り転倒を再現する。本特に報告書では、実際の回避動作に基づいた転倒リスク評価手法の構築について報告する。

3. 研究の方法

どのような人の転倒リスクが高いか評価するために、著者らの研究では、滑り転倒時の回避動作に基づいた手法を行っている。この手法では、被験者の身体機能の一部を制限した上で、滑り転倒実験を行い、その条件で転倒する被験者と転倒回避する被験者に分けることで、制限した身体機能とその被験者の回避動作の戦略であるかどうかを判断し、回避動作の戦略として分類可能であることを報告している[3]。分類した戦略ごとに転倒リスクをそれぞれ評価することで、どの戦略を持つ人が転びやすいか分かり、効果的な転倒予防を行うことができると考えられる。

回避動作に基づいたリスク評価では、Espy らが用いた手法が挙げられる。こちらの手法では、被験者の転倒回避時の COM 位置に対する COM 速度が、安定境界値とどれだけ差が存在するかで安定性を評価している[4]。この安定境界値は Pai らが、ある COM の位置から COM を支持基底面上に移動可能な COM 初速度を、シミュレーションして算出されたものである[5]。ここでの安定性の低さとは、COM の位置に対する速度が安定境界値からどれだけ低いかであり、これは回避動作中の被験者の転びやすさを表すと考えられる。

そこで本報告書では、研究の中で行った転倒回避戦略の分類実験について説明し、戦略による転倒リスクの違いを報告する。この転倒リスクの評価には、回避動作に基づいた安定性の評価の手法として、Espy らが用いた転倒時の COM 位置と速度に基づいた安定領域からの差を指標とした安定性の評価を参考にする。

(1) 転倒回避戦略の分類実験

著者らの研究[3]では股関節の屈曲、伸展をまとめて一つの回避動作の戦略として分類を行ってきたが、磯野らによると、股関節を屈曲するための筋肉は伸展するための筋肉より衰えやすいことが報告されている[6]。このことから、股関節の屈曲を回避戦略に用いる人は、伸展を用いる人よりも、転倒リスクが増加しやすいと考えられる。そのため、本研究では、被験者が股関節の屈曲と伸展どちらの戦略であるかを分類する。

股関節の屈曲と伸展の転倒回避戦略を分類するために、まず被験者に「股関節の屈曲と伸展両方の運動が制限されるように股関節角度の制限」を与え、滑り転倒実験を行う。その結果、転倒した被験者は、股関節の屈曲か伸展のどちらかに回避動作の戦略を持つと分類することができる(転倒を回避した被験者は股関節ではなく、その他の身体機能を用いて回避を行ったと分類する)。次に、股関節の屈曲か伸展のどちらかに回避戦略を持つと分類した被験者の中で、さらに屈曲か伸展のどちらが戦略の主要であるかを分類するために、「股関節の屈曲の運動のみが制限されるように股関節角度の制限」を与え、滑り転倒実験を行う。その結果、転倒した被験者は、股関節の屈曲を回避動作の戦略に持つと分類することができ、転倒回避した被験者は股関節の伸展を回避動作の戦略に持つと分類することができる(図1)。

本実験では、床反力内蔵型トレッドミル、モーションキャプチャ、股関節角度の制限する装置を用いた。左右独立にベルト速度を制御でき、また歩行中の床反力の値も計測可能なトレッドミルとして、ベルテック社製の6成分計測用ダブルベルトトレッドミル ITR5018 を用いた。このト

レッドミルを Labview (National Instruments) を用いて、滑り転倒の現象を再現するトレッドミルの制御を行った[3]。被験者の動作を制限することなく任意の位置を測定可能な機器としてモーションキャプチャを用いた。本実験ではモーションキャプチャとして OptiTrack®を用い、位置計測のために左右の肩、腰、膝、踝、爪先の 10 点にマーカーを装着した。製作した股関節の屈曲を制限する装置を図 2 に示す[7]。この装置は、被験者の膝部をワイヤで後方から牽引することで股関節の屈曲動作を制限することができる。被験者の大腿部に取り付けたジャイロセンサから股関節角度を推定し、設定した角度に到達するとモーターを駆動させ、ワイヤを牽引し、被験者の股関節の屈曲角度を制限する。本実験は、九州大学大学院工学研究院、実験倫理委員会の承認を得たものであり、被験者には事前に研究参加の承諾を得た後に、測定を実施した。

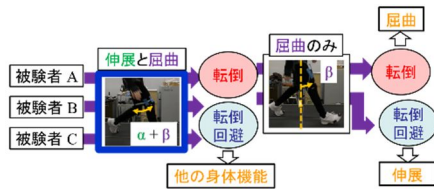


図 1 転倒回避戦略の分類手法

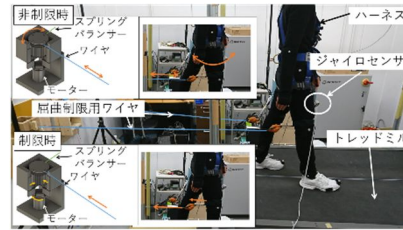


図 2 実験装置

(2) 転倒リスクの評価手法

Pai らのシミュレーションでは、ある COM 位置において COM の位置を支持基底面上に移動させるために必要な COM の最小速度を求めている[5]。また、このシミュレーションでは、足を動かさずに COM を支持基底面上に移動させる運動を仮定しているため、足が地面から離れず前後にも移動しないことを拘束条件として計算を行っている。しかし、予備実験の結果から、被験者が滑り転倒時に滑った足を踏み直して転倒を回避する動作が確認された。そのため、本研究では、踏み直した後の動作を重要とし、踏み直した瞬間の COM の位置に対する COM の速度を計算する[8]。

Espy らの手法を参考に、転倒リスクの評価として、滑り転倒時の実験で得られた被験者の COM 位置 - COM 速度と上記のシミュレーションで計算された安定領域との差を用いる[8] (図 3)。COM 位置の算出には、滑り転倒実験中にモーションキャプチャで測定したマーカーの位置を用いる。COM 速度は上記で求められた時間ごとの重心位置の差分を、サンプリング周期で割ることで算出した。COM 位置は被験者の足の長さで正規化し、COM 速度は被験者の身長で正規化するものとする。

4. 研究成果

(1) 転倒回避戦略の分類実験の結果

それぞれの条件における被験者が転倒したか回避したかの結果を図 4 に示す[9]。本実験では、条件の中で一度でも転倒した場合、その条件で転倒したという分類を行った。転倒の判断基準は、被験者に装着しているハルネスに力が作用して、被験者が吊られた場合を転倒とした。この図の X_R は被験者 X の右足に転倒刺激、 X_L は被験者 X の左足に転倒刺激を加えた結果を表している。

実験の結果、図 4 の緑色の枠で囲まれた被験者は股関節の屈曲と伸展を制限した条件でのみ転倒したため、股関節の伸展を用いる戦略と分類した。また、紫色の枠で囲まれた被験者は股関節の屈曲のみを制限した条件においても転倒したため、股関節の屈曲を用いる戦略と分類した。また、今回制限した条件で転倒しなかった被験者はそのどちらにも属さない戦略であると分類した。

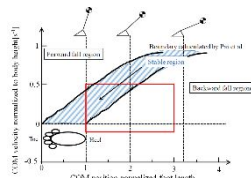


図 3 Pai らが算出した安定領域[5]

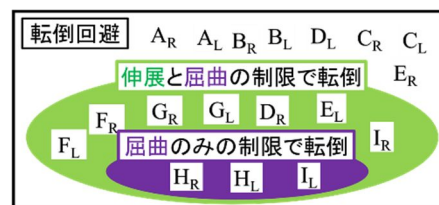


図 4 滑り転倒実験での転倒、回避の結果

(2) 転倒リスクの評価結果

COM 位置と速度の結果を図 5 に示す。それぞれの戦略の代表例として、股関節の屈曲は被験者 H を、股関節の伸展は被験者 F の結果を使用した。左右片足で 2 試行ずつ実験を行ったためデータ 4 つの例を全て記載している。さらに、図 5 の赤枠内を拡大したものを図 6 に示す。図 6 から、被験者 H の方が被験者 F と比べて、安定境界から離れていることがわかる。そのため、本実

験で分類した股関節の屈曲と伸展のそれぞれを戦略にもつ被験者では、股関節の屈曲を用いる戦略のほうが、股関節の伸展を用いる戦略よりも安定性が低いことが分かった。その原因として、被験者の回避動作に注目して考察する。今回の実験では、どちらの戦略でも被験者は滑った足を踏み直す運動を行っている。そのため、回避戦略中に支持脚による片足支持期が存在する。このとき、支持している足は股関節が伸展しているため、股関節の伸展を持つ戦略のほうが安定性が高くなると考えられる。

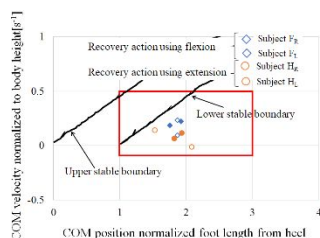


図5 屈曲戦略と伸展戦略の安定性の比較

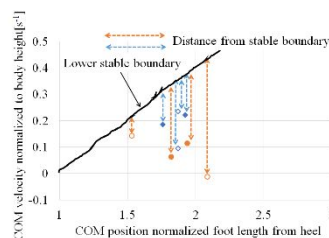


図6 図5の赤枠の拡大図

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目指して、屋外での摩擦が異なる路面状態での滑り転倒現象を再現したトレッドミルの歩行システムの開発と、実際の転倒回避動作に基づいた新たな転倒リスクの評価指標の確立を行った。特に、本報告書では、滑り転倒時の股関節角度を制限することで、戦略を分類する実験について報告した。また、それぞれの戦略をもつ被験者では滑り転倒時の安定性、転倒リスクが異なる可能性があることを回避動作中のCOM位置と速度を用いたモデルから確認した。その結果、股関節の屈曲を戦略にもつ被験者は伸展を戦略にもつ被験者と比べて、安定性が低いことが示唆された。

< 引用文献 >

1. 鳥羽ら：“転倒リスク予防のための「転倒スコア」の開発と妥当性の検証”、日本老年医学会雑誌、42巻3号、2005。
2. 京都大学：“高齢者の転倒危険度を評価する計測システムの開発”、http://www.kyoto-u.ac.jp/research/research_results/2014/documents/141209_1_01.pdf、2014。
3. 中島康貴ら：“滑り転倒刺激実験における転倒回避動作の解析”、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会（ROBOMECH 2017）、2A1-H03、2017。
4. D.D.Espy, et al.：“Independent influence of gait speed and step length on stability and fall risk”、Gait & Posture、pp.378-382、2010。
5. Yi-Chung Pai, et al.：“CENTER OF MASS VELOCITY-POSITION PREDICTIONS FOR BALANCE CONTROL”、J. Biomrchonks、Vol. 30、No. 4、pp 347 -354、1997。
6. 磯野凌ら：“地域在住高齢者におけるロコモティブシンドローム悪化と関連する運動機能についての大規模縦断研究”、第51回日本理学療法学会大会抄録集、2016。
7. 小林太一ら：“可動域拘束に基づいた転倒リスク評価のための股関節角制限手法の検討”、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会（ROBOMECH 2018）、1P1-B15、2018。
8. 小林太一ら：“滑り転倒実験での転倒、転倒回避の定量的評価”、システムインテグレーション部門講演会、2018。
9. Taichi Kobayashi, et al.：“CLASSIFICATION FOR TWO RECOVERY ACTION STRATEGIES IN SLIPPING FALL”、2019 IEEE/SICE International Symposium on System Integrations(SII2019)、2019。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計15件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1 . 発表者名 Taichi Kobayashi, Yasutaka Nakashima, Motoji Yamamoto
2 . 発表標題 Classification for Two Recovery Action Strategies in Slipping Fall
3 . 学会等名 the 2019 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII 2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Hiroyuki Kadomatsu, Suguru Sudo, Yasutaka Nakashima, Motoji Yamamoto
2 . 発表標題 Physical Burden on Caregivers Pushing Wheelchairs
3 . 学会等名 the 2019 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII 2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Yasutaka Nakashima, Shintaro Ueki, Taichi Kobayashi, Hiroki Notsuka, Takanori Fukui, Motoji Yamamoto
2 . 発表標題 Fall Prevention Analysis during a Fall Stimulus using the Differential Velocity of a Split Belt Treadmill
3 . 学会等名 World Automation Congress (WAC) 2018,16th International Symposium on Robotics and Applications (ISORA 2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Akira Kato, Masato Hirabayashi, Yuya Matsumoto, Yasutaka Nakashima, Yo Kobayashi, Masakatsu G. Fujie
2 . 発表標題 Continuous Wrist Joint Control using Muscle Deformation on Forearm Skin
3 . 学会等名 the 2018 IEEE International Conference of the Robotics and Automation (ICRA 2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 中島康貴, 植木真太郎, 河野一郎, 中島康晴, 山本元司
2. 発表標題 柔軟で軽量な歩行アシストスーツを用いた左右非対称性を緩和するアシスト効果の検証
3. 学会等名 第23回ロボティクスシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小林太一, 中島康貴, 山本元司
2. 発表標題 滑り転倒実験での転倒, 転倒回避の定量的評価
3. 学会等名 第19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 2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松尾泰志, Pham Hoang Tung, 戸越勉, 中島康貴, 山本元司
2. 発表標題 ヒト立位安定性の評価手法の提案
3. 学会等名 第19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 2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 河野一郎, 藤田努, 上島隆秀, 阿波村龍一, 岡澤和哉, 川口謙一, 山本元司, 中島康貴, 中島康晴
2. 発表標題 関節支持機構を持たない軽量かつ柔軟な歩行アシストスーツの開発とその臨床応用
3. 学会等名 第2回日本リハビリテーション医学会秋季学術集会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小林太一, 中島康貴, 山本元司
2. 発表標題 滑り転倒時の異なる転倒回避戦略の安定性評価
3. 学会等名 第36回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ 2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤田努, 河野一郎, 上島隆秀, 阿波村龍一, 岡澤和哉, 川口謙一, 山本元司, 中島康貴, 中島康晴
2. 発表標題 術後に筋力回復が得られなかった人工股関節置換術後例における軽量かつ柔軟なアシストスーツ装着による即時的効果
3. 学会等名 日本リハビリテーション医学会 第55回学術集会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小林太一, 中島康貴, 植木真太郎, 山本元司
2. 発表標題 可動域拘束に基づいた転倒リスク評価のための股関節角の制限手法の検討
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH 2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中島康貴, 植木真太郎, 山本元司
2. 発表標題 滑り転倒刺激実験における転倒回避動作の解析
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH 2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中島康貴, 植木真太郎, 山本元司
2. 発表標題 滑り転倒刺激実験における転倒回避動作の解析と回避動作戦略の検討
3. 学会等名 日本機械学会2017年度年次大会 (JSME 2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小林太一, 中島康貴, 山本元司
2. 発表標題 滑り転倒時における拘束条件や刺激強度の違いが転倒回避戦略に及ぼす影響の検討
3. 学会等名 第35回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ 2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中島康貴, 植木真太郎, 山本元司
2. 発表標題 トレッドミルの左右の速度差を用いた滑り転倒刺激実験における転倒回避動作戦略の検証
3. 学会等名 生体医工学シンポジウム2017
4. 発表年 2017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	山本 元司 (Yamamoto Motoji) (90202390)	九州大学・工学研究院・教授 (17102)	