

令和 3 年 6 月 16 日現在

機関番号：33903

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K12173

研究課題名(和文) 歩行中の転倒リスク評価システムの構築

研究課題名(英文) Assessment of fall risk during walking

研究代表者

香川 高弘 (Kagawa, Takahiro)

愛知工業大学・工学部・准教授

研究者番号：30445457

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、身体構造を単純化した運動方程式を解析することで、歩行中に転倒しやすい状態をリアルタイムに検知することができるバランスマップ解析を開発した。コンピュータシミュレーションによって、歩行中に躓いた場合に、バランスマップで転倒を予測できることを確かめた。また、転倒しやすい状態の領域とのマージンによって転倒のしやすさを定量化できることを確かめた。次に、実際の人間の歩行とつまずいたときの転倒回避動作を計測し、バランスマップ解析の妥当性を検証した。通常の歩行では転倒領域に対し十分なマージンがあり、躓いたときに状態が転倒領域に接近・進入することがわかり、バランスマップ解析の有効性を確認できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

転倒は寝たきりの主要な要因の一つであり、転倒予防が高齢者の健康において重要な課題である。歩行運動が複数の身体部位が運動する複雑な運動のため、転倒リスクを評価する有効な手法はまだ確立されていない。本研究は、身体を単純化した力学モデルを基に、転倒しやすい状態をリアルタイムに検知できる新しい転倒リスク評価法を構築した。本研究では、健常の若年者の歩行に対してバランスマップ解析の転倒リスク評価法の妥当性を確認することができた。高齢者や歩行障害の方の転倒リスクの定量化に有効であることを確かめられれば、リスクを低減するリハビリテーションや補講アシスト機器の設計・開発に役立てられると期待できる。

研究成果の概要(英文)：We developed a new fall risk assessment method during walking, termed as balance map analysis. The balance map analysis predicts future falling based on a simple biomechanical model. A computer simulation revealed that the balance map framework could predict future falling while stumbled walking. Furthermore, the risk of falling could be quantified by the margin from the boundary of balance loss region. Human steady-state walking and stumbled walking were evaluated by the balance map analysis. we confirmed that the trajectories of the steady-state walking maintained sufficient margin from the balance loss regions. While stumbled, the state approached and went into the balance loss regions. The margin was recovered in a few recovery steps after stumbled. These results indicate that the balance map analysis can evaluate closeness from falling during walking.

研究分野：生体医用工学

キーワード：歩行分析 転倒リスク 歩行モデル

1. 研究開始当初の背景

我が国をはじめとする先進諸国では人口の高齢化が進行しており様々な社会問題が顕在化している。高齢者が健康であることは、本人やその家族だけでなく日本の医療制度にとっても大事なことであり、高齢者の転倒は「要介護」となる主要な要因の一つであり、平成 25 年厚生労働省国民生活基礎調査では「骨折・転倒」で要介護になった人の割合が全体の 12%を占めることが報告されている。転倒予防のための技術開発は高齢者の介護予防や健康寿命の延伸に寄与することが期待される。また、近年では筋力低下や歩行障害のある高齢者のための歩行アシストロボットなどの技術開発が様々な企業や大学で進められている。より安全な高齢者の自立動作支援の技術開発においても転倒防止は重要な研究課題となっている。

2. 研究の目的

歩行は体を支える支持脚が前方に倒れるまえに、遊脚が振り運動によって適切な位置に着地することで成り立つ。安定な歩行では、支持脚と遊脚の運動の間に満たすべき相対的な関係があり、転倒はこの支持脚と遊脚の相対関係が外乱などで破綻したときに生じると考える。そこで本研究では、支持脚と遊脚の相対関係を歩行の力学モデルから導出し、転倒リスクを定量化するバランスマップ解析を構築する。さらに、歩行のコンピュータシミュレーションと健常者の歩行のデータに対してバランスマップ解析を適用して、その有効性を検証することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) バランスマップ解析の構築

線形化したコンパス歩行モデルに基づいて支持脚と遊脚の軌道を解析し、回避動作を行わなければ転倒する領域を転倒領域として導出した。重心の位置と速度の状態空間において、前方転倒・後方転倒の領域を図示し、状態が転倒にどの程度近いかを可視化するバランスマップ解析を考案した。バランスマップによる転倒リスクの可視化について図 1 を基に説明する。遊脚の重心位置が股関節の真下にあるときの重心位置と速度から、その後転倒する状態を転倒領域として表している。重心位置が前方で速度が高いとより前方に転倒しやすく、重心位置が後方で速度が低いと後方に転倒しやすいことを示している。転倒のしやすさは、歩行中の状態と各転倒領域の境界との最短距離によって定量化される。本研究では、解析法の理論的な妥当性をコンピュータシミュレーションによって評価した。解析に使用した線形化コンパス歩行モデルに対して、非線形な特性持つ元々のコンパス歩行モデルでシミュレーションした軌道を解析し、線形化による影響を調べた。また、転倒リスク評価の指標であるマージンが転倒のしやすさと相関があるかどうかをシミュレーションにより解析した。

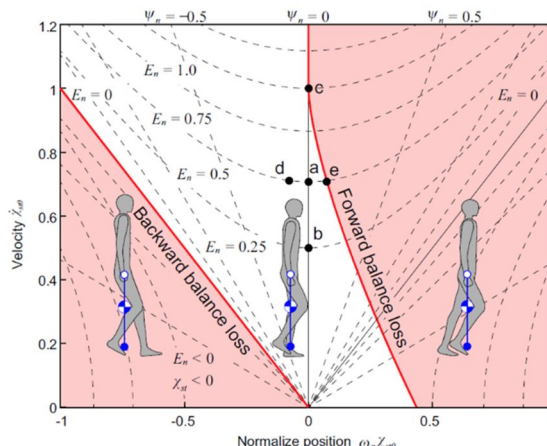


図 1 転倒リスクの可視化(バランスマップ)

(2) 健常者歩行の計測と解析

実際の人間の歩行動作に対してバランスマップ解析で転倒リスクを評価して、その有効性を検証した。実験は以下の 2 つの仮説について検証することでその有効性を確かめた。

- 定常歩行において、バランスマップ上の軌道は安定領域内を移動する。
- 歩行中につまずくと、バランスマップ上の軌道は前方転倒領域に接近・進入し、その後の補償動作により安定領域に戻る。

この 2 つの仮説を検証するために、通常の歩行とスイング中の足首をロープで引っ張

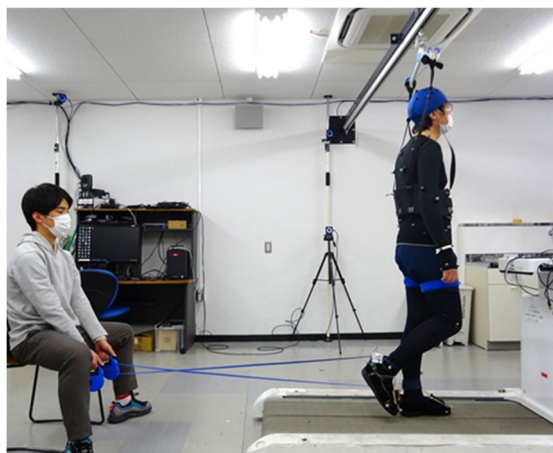


図 2 歩行中につまずきとその後の転倒回避動作の計測の様子。

ることをつまずかせたときの歩行を計測した。被験者は7名で、実験の前にその方法を説明し書面にて同意を得た。また、て愛知工業大学倫理審査委員会の承認を得て実験を実施した。図2に示すように被験者はトレッドミル上を歩行し、その身体の動きをモーションキャプチャで計測した。左右の足首にロープを取り付け、ロープを引っ張ることをつまずさせる。つまずいたときのロープの張力をロードセルによって計測した。

4. 研究成果

(1) 計算機シミュレーションによる検証

計算機シミュレーションの結果はバランスマップ解析の理論的な予測とほぼ一致し、方法の妥当性を確認できた。非線形なコンパス歩行モデルに対して、通常の歩行と遊脚の足先に外力を加えたときのシミュレーション結果を図3に示す。非線形なモデルでも、通常の歩行では軌道が安定領域内にとどまり、その移動量も十分小さいことがわかる。また、足首を引っ張る外力を加えると、状態が前方転倒領域に移動し、歩行も前方に転倒することを確認した。次に、マージンが大きいほど転倒しにくいかどうかを検証するため、マージンの大きさと状態が転倒領域に達する最小の外力を比較した(図4)。横軸がマージンの大きさを表し、縦軸が転倒領域に達する最小の力を表す。外力を加えるタイミングを離脚後の50, 100, 150 [ms]と変えたときの違いについても検討した。いずれの条件でも、マージンの増加に対して転倒する外力の大きさが単調増加の関係にあることから、マージンの大きさが転倒のしやすさを表す指標として妥当であることがわかる。

(2) 健常者の歩行に対する検証実験

図6は定常歩行およびつまずいたときと転倒回避時のバランスマップ上の軌道を示す。左上の定常歩行では軌道はほぼ安定領域内を移動し、転倒領域に進入したのは全体の3%未満であった。右上の図は外乱を受けたときの軌道を示す。状態が前方転倒領域に進入したことが確認できる。外乱後の転倒回避動作のステップ(左下・右下)では、状態が前方転倒領域から安定領域に戻り、バランスを回復する様子を確認できる。一歩目(左下)では、離脚時に状態が転倒領域に位置することがわかる。また、二歩目(右下)では軌道が安定領域内に収まっていることが確認できる。

以上の結果から、バランスマップ解析が、実際の人間の歩行パターンに対する転倒リスクの定量化に有効であることを確認ができた。

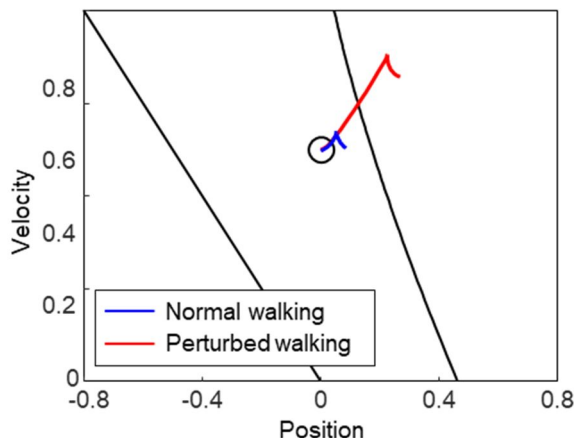


図3 歩行シミュレーションの結果

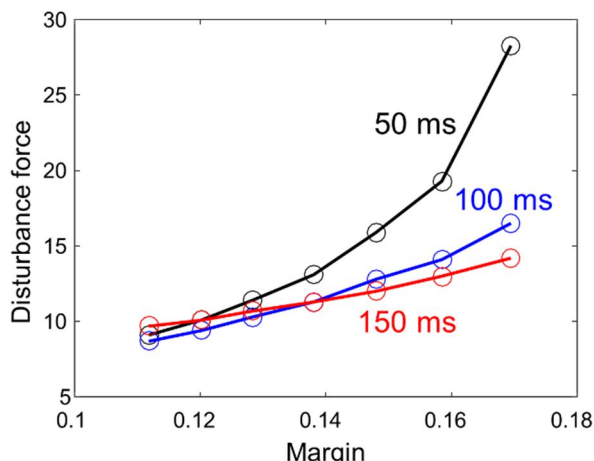


図4 転倒が生じる外力とマージンとの関係

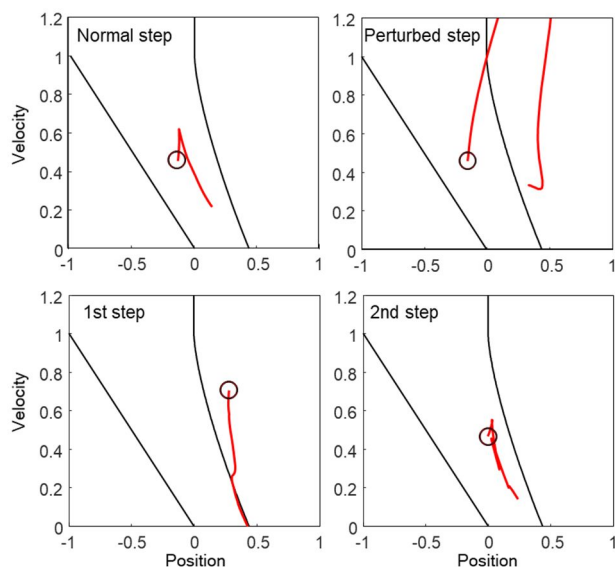


図5 定常歩行および、つまずいたときとその後の転倒回避動作のバランスマップ軌道

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Kagawa Takahiro, Makeig Scott, Miyakoshi Makoto	4. 巻 33
2. 論文標題 Electroencephalographic Study on Sensory Integration in Visually Induced Postural Sway	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Cognitive Neuroscience	6. 最初と最後の頁 482 ~ 498
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1162/jocn_a_01659	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Kagawa Takahiro, Nomura Takumi, Kondo Shuji	4. 巻 2
2. 論文標題 Interlimb Parallel-Link Powered Orthosis (IPPO): Compact Wearable Robot With Lateral Weight Bearing Mechanisms for Gait Assistance	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Medical Robotics and Bionics	6. 最初と最後の頁 300 ~ 308
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMRB.2020.3004873	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 2件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 T. Kagawa
2. 発表標題 Balance map analysis as a measure of walking balance based on pendulum-like leg movements
3. 学会等名 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 近藤修士, 香川高弘
2. 発表標題 線形化コンパス歩行モデルの最適軌道の定式化
3. 学会等名 第25回ロボティクスシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 香川高弘, 清水勝也
2. 発表標題 バランスマップに基づく歩行中の転倒リスクの定量化に関する検討
3. 学会等名 第20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
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 香川高弘
2. 発表標題 線形化歩行モデルに基づく転倒の解析
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
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 香川高弘
2. 発表標題 ロボット技術に基づく人の動作アシストシステムの研究開発
3. 学会等名 第120回AITオープンフォーラム(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 香川高弘
2. 発表標題 運動機能の障害と生活支援ロボット
3. 学会等名 大学コンソーシアムせとカレッジ講座(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鈴木龍, 香川高弘
2. 発表標題 歩行中の前方転倒に対するバランス評価の検証
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木龍, 香川高弘
2. 発表標題 バランスマップに基づく歩行中の転倒回避動作の解析
3. 学会等名 第21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
4. 発表年 2020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	松戸 典文 (Matsudo Noribumi) (40734231)	駒沢女子大学・看護学部・助教 (32696)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------