

長寿医療研究開発費 平成30年度 総括研究報告

歩行分析に基づく MCI・フレイル高齢者の評価・介入法に関する研究（30-12）

主任研究者	加藤健治	国立長寿医療研究センター 健康長寿支援ロボットセンター ロボット臨床評価研究室（室長）
分担研究者	大沢愛子	国立長寿医療研究センター 健康長寿支援ロボットセンター 認知行動科学研究室（室長）
	相本啓太	国立長寿医療研究センター リハビリテーション科部（理学療法士）
	佐藤健二	国立長寿医療研究センター リハビリテーション科部（理学療法士）
	佐野明人	名古屋工業大学（つくり領域）電気・機械工学専攻（教授）
	牛場潤一	慶應義塾大学 理工学部 生命情報学科（准教授）
	武見充晃	東京大学 大学院教育学研究科（研究員）

研究要旨

近年、高齢化が進む日本において、いかに健康寿命を延伸し、要介護状態である期間を短くするかが喫緊の課題となっている。その中で、後期高齢者が要介護状態となる原因として、認知症の前段階である軽度認知障害（MCI）とフレイルが挙げられる。ともに、早期に発見し、適切な介入をすることにより、生活機能の維持・向上を図れるものの、まだ実証に基づく適切な介入法は確立していない。一方、高齢化に伴う労働資源の減少に対応するための歩行支援機器・ロボット開発の進行は著しい。そのような機器に対して、一早く安全性の検証、および介入による運動学的変化・臨床効果を実証することで、高齢者への生活導入を加速できる可能性がある。このため当該研究課題を、「歩行分析に基づく MCI・フレイル高齢者の評価・介入法に関する研究」として研究に取り組みたいと考えている。

主任研究者

加藤 健治 国立長寿医療研究センター 健康長寿支援ロボットセンター
ロボット臨床評価研究室（室長）

分担研究者

大沢愛子 国立長寿医療研究センター 健康長寿支援ロボットセンター
相本啓太 国立長寿医療研究センター リハビリテーション科部（理学療法士）

佐藤健二 国立長寿医療研究センター リハビリテーション科部（理学療法士）
佐野明人 名古屋工業大学（つくり領域）電気・機械工学専攻（教授）
牛場潤一 慶應義塾大学 理工学部 生命情報学科（准教授）
武見充晃 東京大学 大学院教育学研究科（研究員）

A. 研究目的

本研究の目的は、MCIとフレイル高齢者において、歩行支援ロボットを装着し、その前後における運動学的効果・臨床効果を実証することで、当該研究領域における歩行支援ロボットを一早く高齢者の生活に導入することにある。MCIとフレイルは、ともに早期に発見し、適切な介入をすることにより、生活機能の維持・向上を図れると示唆されているものの、まだ実証に基づく介入法が確立していない。その点において、歩行支援ロボットの装着によって、MCI・フレイル高齢者にどのような運動学的効果・臨床効果をもたらすのか実証することが喫緊かつ急務の課題と考えている。

また、本研究では、短期的な介入前後における実証実験に留まらず、高齢者への生活導入を前提とした研究を見据えている点において大きな特色を持つと考えている。先行研究においては、脳梗塞患者後のリハビリテーションの促進を目的とした歩行支援ロボット、中枢神経障害後の障害された歩行機能を補助するための歩行補助ロボットをはじめとする様々な歩行ロボット開発が行われているものの、それらの多くは大型かつコストの高いロボットで、高齢者への生活導入という観点からは、まだ困難な状況といえる。一方で、現在、名古屋工業大学 佐野明人教授らが開発中の歩行支援機器は、バネの力を有効利用してモーターやバッテリーを一切使用しない無動力歩行アシスト機器で、小型で簡便に装着可能であることから、高齢者への生活導入を十分に視野に入れた研究が可能である。本研究においては、MCI・フレイル高齢者における日常生活の中で歩行支援機器を一定時間・長期間にわたって装着し、その前後における運動量の変化、歩行分析に基づく運動学的変化、認知機能の変化について検証することを目的とする。

B. 研究方法

(1) 全体計画

課題1. 歩行分析に基づくMCI・フレイルのスクリーニング法の検討

近年当センターに導入された“Gait Real-time Analysis Interactive Lab : GRAIL”を用いて、MCIに関連する歩行特徴を抽出する。GRAILは、デュアルベルト・トレッドミル、モーションキャプチャーシステム、視野角180°のバーチャル・リアリティ（Virtual Reality: VR）が搭載され、VRから様々な人工風景が投影された状態で、歩行速度・外乱・傾斜角を操作することができる。認知症に対する近年の報告では、認知機能障害が出現する約9年前から歩行機能とそれに伴う身体活動の低下が起こることが示唆されている。また、歩行機能や身体活動の低下はフレイルの基本的な特徴でもある。GRAILで外乱や昇降などの負荷

を加えることで、MCI およびフレイルで起こる微細な歩行の異常を捉えることが容易になると予想される。本研究の第一段階として、GRAIL を用いた MCI およびフレイルにおける歩行障害の早期発見を試みる。具体的には、凸凹のある山道歩行、風を模擬した外乱を交えた歩行、院内廊下で障害物を避けながらの歩行課題を行い、各課題における歩行パフォーマンス（歩行速度・歩幅等）や運動学的パラメータ（下肢関節角度・重心動揺等）を分析することで、MCI に関連する歩行特徴を明らかにする。

課題 2. 歩行支援機器・ロボットを用いた MCI・フレイルに対する介入法の検討

近年、名古屋工業大学や名古屋大学をはじめとして、モーターやバッテリーを使用しない小型の無動力歩行支援機器や、自動追従できる杖型歩行ロボットの開発が進んでいる。一方同じくバランス障害・歩行障害を起こす脊髄小脳変性症では、適切な時期に安全な環境で歩行量を増やすことで、機能改善が起こることがわかっている。そこで、研究課題の第二段階として、課題 1 で用いた歩行計測・分析法を活用しながら、フレイル・軽度認知障害高齢者における歩行支援機器・ロボット長期介入による有効性を、臨床・運動学的見地に基づいて実証する。具体的には、支援機器・ロボットを装着した直後の効果（運動機能）と、一日当たり数時間程度の装着を 1 か月にわたって持続したときの効果（運動機能に加えて認知機能）、さらに訓練後の持ち越し効果を検討することで、介入前後における運動機能・認知機能の短期・長期変容過程を分析する。

主任研究者、分担研究者及び研究協力者の役割

加藤健治 開発大学との連携調整、全体の総括

佐野明人 歩行支援機器・ロボットの開発

牛場潤一 歩行支援機器・ロボット開発におけるリスクコントロール

武見充晃 MCI・フレイル高齢者における歩行分析

大沢愛子 活動量増大に伴う認知機能の変化の分析

相本啓太 実験実施および高齢者への歩行支援機器の生活導入

佐藤健二 実験実施および高齢者への歩行支援機器の生活導入

(2) 年度別計画

平成 30 年度

課題 1 : GRAIL を用いた様々な歩行課題を実施し、健常若年健常者を対象として、VR による歩行中の視覚的フローを獲得することに対する歩行への影響について検証する。

課題 2 : 名古屋工業大学 佐野明人教授との共同研究を通して、MCI・フレイル高齢者の生活導入を目的とした、モーターやバッテリーを使用しない小型の無動力歩行支援機器の開発を進める。

平成 31 年度

課題 1：前年度の結果を受けて、MCI を対象とした GRAIL を用いた様々な歩行課題を実施し、各課題における歩行パフォーマンス（歩行速度・歩幅等）や運動学的パラメータ（下肢関節角度・重心動揺等）を分析することで、MCI に関連する歩行特徴を抽出する。
課題 2：課題 1 で用いた歩行計測・分析法を活用しながら、MCI・フレイルにおける歩行支援機器や歩行支援ロボットの短期介入による有効性を、運動学的見地に基づいて実証する。

令和 2 年度

課題 1：前年度の結果を受けて、MCI に特徴的な歩行パラメータを抽出するための歩行課題を選定し、MCI の早期スクリーニングのための GRAIL の活用方法について提示する。
課題 2：MCI・フレイル高齢者において、一日当たり数時間程度の装着を 1 か月にわたって持続したときの効果（運動機能に加えて認知機能）、さらに訓練後の持ち越し効果を検討し、介入前後における運動機能・認知機能の変容過程を分析する。

（倫理面への配慮）

ヘルシンキ条約に基づいて実験プロトコルを作成する。また、当センターの倫理・利益相反委員会へ申請し、承認を受けてから実施する被験者に対しては、事前に研究の詳細を説明し、いかなる場合と時期においても研究協力を撤回できる旨を伝えた上で、同意書に署名を得る。取得したデータは匿名化をおこない、実験には直接関与しない個人情報管理者の下で保管する。

C. 研究結果

当初の研究計画通り、平成 30 年度においては、健常若年健常者を対象として GRAIL（**図 1 左**）を用いた歩行課題を実施し、VR を用いた歩行中の視覚情報の獲得が歩行・運動学的パラメータに与える影響について検証した。特に、これまで先行研究において視覚的フローと歩行の安定性について議論されてきた点に注目し、自動速度調整（Self Paced mode: SP）モードでの歩行中の視覚的フローの獲得が、歩行速度・歩幅・歩隔等の歩行パラメータに影響を及ぼすのかについて探索的に検討した。対象は、健常若年者 18 名とし、各対象者は、10m 平地歩行を 2 回実施した後に、両側下肢の上前腸骨棘、上後腸骨棘、大腿骨外側上顆、外果、第 5 中足骨骨頭、第 1 趾末節骨等を含む計 25 マーカを貼付して、歩行速度、歩幅、歩隔を算出した。各被験者は、平地に真っ直ぐに伸びる一本の道路が投影する VR 環境を用いた（**図 1 右**）。道路脇には建物を投影し、歩行速度と建物や道路の周辺風景が連動して変化するように設定した。また、実験前に口頭で SP モードについて説明し、GRAIL 上で SP モードの練習（自身の快適速度で歩行する課題）を行った。練習後、VR の有無条件での歩行を 2 回ランダムに実施した。歩行時間は約 90 秒とし、30 歩行サイクル以降を歩行速度の

定常状態と定義し、各対象者における 30–60 歩行サイクルを、歩行速度、歩幅、歩隔の解析区間と設定した。平地歩行の平均速度は、2 回の 10m 平地歩行の平均値を求め、トレッドミル上での平均速度は VR 有無の条件で定常状態になっていると考えられる 45 歩行周期以降の平均速度を算出した。3 群間の比較には Tukey の多重比較を使用し、有意水準は 5% とした。統計ソフトは SPSS 23（日本 IBM 社製）を使用した。

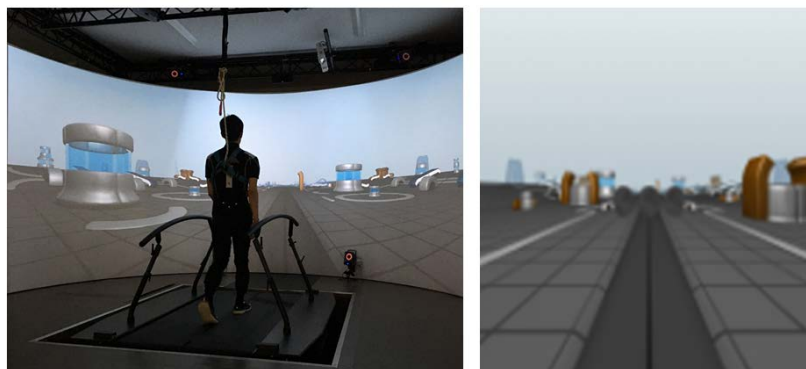


図 1 Gait Real-time Analysis Interactive Lab : GRAIL の概要図（左）と道路を投影したバーチャル環境（右）

初めに、自動速度調整トレッドミルと平地における快適歩行速度の比較を行った。図 2 に、各条件における被験者間の平均歩行速度を示す。平地歩行条件と比較して、VR なし、VR ありでの平均速度は有意に低かった。また、トレッドミル歩行における VR ありとなしの平地歩行速度に対する比率を表 1 に示した。

次に、VR 有無の条件間における歩行パラメータ（歩行速度・歩幅・歩隔）の比較を行った。これらの結果詳細は、分担研究者報告「VR を付与したトレッドミル歩行分析と歩行支援機器の活用」にて記載したが、各被験者における定常歩行中の歩行速度と歩幅の標準偏差は、VR ありの条件下では VR なしの条件下と比較して有意に減少することがわかった。一方で、歩行速度、歩幅、歩隔の平均値は、VR のありとなしでの条件間で有意な差は認められなかった。

最後に、課題間の歩行の類似度を検討するため、各歩行サイクルで時間を正規化した体幹マーカ位置座標および体幹加速度について課題間の相互相関を算出したところ、課題間の相互相関係数は、被験者間で 0.238 から 0.929 まで大きく変動することがわかった。

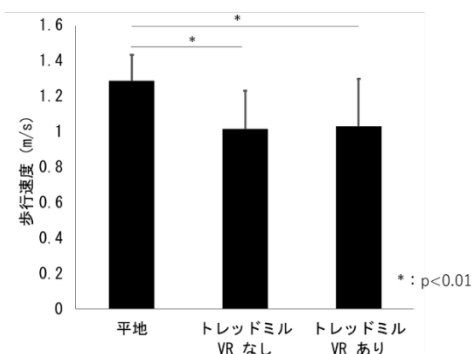


表 1 平地歩行に対するトレッドミル歩行の速度比

	平地歩行速度に対する比
トレッドミル歩行 VR なし	0.79±0.14 (0.51-1.06)
トレッドミル歩行 VR あり	0.80±0.19 (0.45-1.20)

平均値±標準偏差 (最小値-最大値)

図 2 各条件での歩行速度

D. 考察と結論

初めに、平地歩行速度と比較して、2条件のトレッドミル歩行速度は有意に遅い結果となった。これらの結果は、先行研究の結果と同様であった¹⁾。平地歩行に対するトレッドミル歩行の速度比では、2条件ともに最小値が約半分、最大値が1倍を超えていた。そのため、平地での歩行速度に対して一定の比率でトレッドミルの速度を決定することは、困難であるかもしれない。平地歩行速度の50%から徐々に80%程度を目安にトレッドミル歩行速度を増大させ、対象者に応じてさらに増大させることが必要であると考えられた。一方で、今回はVRの有無による差はみられなかった。Plotnikは、VRの有無によるトレッドミル歩行速度の差は歩行時間の経過とともに減少すると報告している²⁾。本研究では、定常状態を考慮し、歩行速度の平均値算出に45歩行周期以降の値を用いたことが影響している可能性がある。本研究の限界は、健常若年者のみを対象としたこと、対象者数の少なさがあげられる。またSPモードを使用しているが、速度が対象者の真の快適歩行速度になっているかは確認できない。今後は、対象者数の増大や高齢者を対象者とするなどして、本研究を進めていきたい。

次に、歩行速度と歩幅の標準偏差は、VRありの方がVRなしの条件下と比較して、有意に減少した。実際に、いくつかの先行研究では、トレッドミル歩行中のVRの付与に対する歩行安定性と歩行変動の関連性について検証している³⁻⁵⁾。しかしながら、その結果はVRを付与することで歩行速度や歩幅の変動が逆に増加するという報告であった。これらの結果の相違は、主にVRの視野角の違い（先行研究では視野角が約45°から160°のVRスクリーンを使用しているためGRAILと比較すると視野角が狭い）や、SPモードではなく固定速度下での歩行評価をしている点に起因する可能性が挙げられる。これらの相違を考慮すると、GRAILの持つSPモードや視野角180°の没入型VRの環境において、自身の動きに連動する視覚情報を獲得することが、歩行速度や歩幅のばらつき減少に繋がっている可能性が示唆された。また、課題間における体幹マーカ位置座標および体幹加速度の相互相関係数は、被験者によって大きく変動した。この結果は、課題間の難易度の差やSPモードにおける歩行速度の変動を反映している可能性がある。今後は、MCIの歩行特徴の抽出を目指し

て、様々な難易度の歩行課題を施行した際の課題間の歩行変動を計測するための指標として、相互相関解析を用いた検討をさらに進めていきたい。

最後に、次年度では、MCIの評価としてGRAILを活用・展開するための歩行分析を実施する予定である。すでに、いくつかの先行研究では、GRAIL上のアプリケーションが、大腿切断者や下腿切断者^{6,7)}、外傷性脳損傷後⁸⁾の評価として有用であることを報告している。したがって、次年度では、前年度より大規模かつシステムティックな効果検証を視野に入れて、MCIの歩行評価のためのGRAILの活用を目指す。

【参考文献】

1. Marsh AP, Katula JA, et al. (2006) Effect of treadmill and overground walking on function and attitudes in older adults. *Med Sci Sports Exerc.* 38(6):1157-64.
2. Plotnik M, Azrad T, et al. (2015). Self-selected gait speed--over ground versus self-paced treadmill walking, a solution for a paradox. *J Neuroeng Rehabil.*
3. Prokop, T. et al. Visual influence on human locomotion. Modulation to changes in optic flow. *Exp Brain Res.* 114. 63–70 (1997).
4. Hollman, J.H. et al. Does walking in a virtual environment induce unstable gait? An examination of vertical ground reaction forces. *Gait Posture.* 26. 289–294 (2007).
5. Hollman, J.H. et al. Spatiotemporal gait deviations in a virtual reality environment. *Gait Posture.* 23. 441–444 (2007).
6. Elizabeth, R.E. Can real-time visual feedback during gait retraining reduce metabolic demand for individuals with transtibial amputation? *Plos One.* 12. 1–14 (2017).
7. Sheehan, R.C. et al. Use of Perturbation-Based Gait Training in a Virtual Environment to Address Mediolateral Instability in an Individual with Unilateral Transfemoral Amputation. *Physical Therapy.* 96. 1896–1904 (2016).
8. Rábago, C.A. et al. Application of a Mild Traumatic Brain Injury Rehabilitation Program in a Virtual Environment: A Case Study *Journal of Neurologic Physical Therapy.* 35: 185–193 (2011).

E. 健康危険情報

なし

F. 研究発表

1. 論文発表

- 1) 近藤和泉, 橋爪美香, 加藤健治, 向野雅彦: ロボットを使用した課題指向型リハビリテーション医療. *Journal of Clinical Rehabilitation* 27, 538-542, 2018.
- 2) 加藤健治, 相本啓太, 近藤和泉: 義肢装具士のための基礎的工学入門 バーチャル環境を介した視覚的フローの獲得がトレッドミル歩行に与える影響. 日本義肢装

具学会誌 35(2), 124-127, 2019.

2. 学会発表

- 1) Kenji Kato : Kinematic analysis using feedback-controlled treadmill with virtual reality system and its application to the early screening for dementia. The Fourth ICAH-NCGG Symposium, 11th May, 2018, Taipei.
- 2) Kenji Kato, Keita Aimoto, Izumi Kondo : Phase-dependent gait variability in self-paced treadmill walking. XXII Congress of the International Society of Electrophysiology and Kinesiology, June 30 – July 2, Dublin, Ireland, 2018.
- 3) Kenji Kato, Keita Aimoto, Izumi Kondo : Visual flow with an immersive virtual reality system reduces gait variability in steady walking: A self-paced treadmill study. International Central European ISPO Conference 2018, Sep 20 – 22, Portoroz, Slovenia, 2018.
- 3) 加藤健治, 近藤和泉, 相本啓太 : バーチャル・リアリティを用いた視覚フローがトレッドミル歩行へ与える影響. 第34回日本義肢装具学会学術大会口頭発表, 2018年11月11日, 名古屋市.
- 4) 加藤健治 : バーチャル・リアリティーを付与したトレッドミル歩行機能評価の試みとその応用. 第34回日本義肢装具学会学術大会シンポジウム「義肢装具士のための基礎的工学入門」, 2018年11月11日, 名古屋市.

G. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし