

長寿医療研究開発費 2019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） |
| | 牛場潤一 | 慶應義塾大学 理工学部 生命情報学科（准教授） |
| | 渡邊航平 | 中京大学 教養教育研究院 体育系列（教授） |
| | 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） |

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、要介護状態でのい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評価・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ロボット開発や、高齢者の自立支援を目的とした歩行支援機器開発の進行は著しい。そのような生活支援ロボット・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)
牛場潤一 慶應義塾大学 理工学部 生命情報学科 (准教授)
渡邊航平 中京大学 教養教育研究院 体育系列 (教授)
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)

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、分担研究者である佐野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いて、日常生活を模擬したバーチャル環境を付与したトレッドミルを活用し、無動力歩行アシスト機器を一定時間にわたって装着した際の歩行変容について検討したい。さらに、ノンマーカーマーションキャプチャリング技術や下肢表面筋電図解析を駆使することで、歩行アシスト機器の装着効果に関連する下肢神経筋メカニズムについて検討したい。以上より、ロボットの生活導入を前提とした介入による運動機能評価を打ち出さんとしている点で、独創的であると考えらる。

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

当センターに導入された“Gait Real-time Analysis Interactive Lab : GRAIL”を用いて、MCIに関連した歩行特徴を検討する。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・システム(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の障害が現れる10年程前から歩行障害とそれに伴う活動量の低下が起こるとされている。また歩行障害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。

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

渡邊航平 筋電図計測と解析の策定

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

2018年度

課題1: 健常若年健常者を対象としてGRAILを用いた様々な歩行課題を実施し、視野角180°のVRを介した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討する。

課題2: 分担研究者である佐野とともに、モーターやバッテリーを使用しない装着型無動力歩行支援機器の開発を進める。また、歩行支援機器の装着効果を検証するため、課題1

にて進めている GRAIL を用いた歩行実験系プロトコルを策定する。

2019 年度

課題 1: 2018 年度の結果を受けて、認知機能の低下した高齢者および健常高齢者を対象とした GRAIL を用いた歩行課題を実施し、平地歩行やそれに認知課題を付与した二重課題中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、認知機能の低下した高齢者と健常高齢者間の歩容特徴の差異を抽出する。

課題 2: 2018 年度に策定した歩行実験プロトコルに基づき、GRAIL 上で無動力歩行支援機器の装着効果を検証するための歩行分析法の開発を進める。主に、歩行支援機器装着時におけるモーションキャプチャーを用いた歩行分析の実現可能性について見極め、十分な精度が得られない場合には、深層学習を活用したマーカーレスモーションキャプチャー技術を取り入れた歩行分析法の開発を進める。

2020 年度

課題 1: 2019 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 GRAIL 上での歩行課題を選定し、MCI 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。また、深層学習を活用したマーカーレスモーションキャプチャー技術を取り入れた歩行分析法の開発をさらに進めて、特徴点抽出精度の劣化に対応した信号処理パイプラインを開発する。

課題 2: 2019 年度に開発を進めた GRAIL 上でのモーションキャプチャリング技術あるいはマーカーレスモーションキャプチャリング技術による歩行分析と、下肢表面筋電図計測による筋活動分析を通じて、若年者および高齢者を対象にした無動力歩行支援機器の装着時における歩容変化について検証する。

（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

2018 年度

課題 1: 2018 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。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。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。その結果、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。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。次に、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。

課題 2: 分担研究者である名古屋工業大学 佐野明人教授とともに、MCI・フレイル高齢者の生活導入を目的とする、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改良を進めた。無動力の歩行支援機器は、貯蓄された弾性エネルギーを活用して足の振り出しを助けるため、フレイルにおける運動量低下に対する介入法として期待できる。たとえば、負担にならない程度のおもりを手に把持して歩くだけで腕の振り運動が拡大し、これに同調して自然に股関節の伸展域が拡大してアシスト感が増す可能性がある。これらの効果を主眼とした無動力の歩行支援機器の改良を行い、GRAIL 内で評価可能な歩行支援機器の改良に取り組んだ。

2019 年度

課題 1: 前年度の結果を受け、認知機能の低下した高齢者および健常高齢者を対象とした 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、認知機能の低下した高齢者と健常高齢者間の歩行特徴の差異を抽出した。具体的には、認知機能の低下した高齢者 11 名および健常高齢者 11 名を対象として GRAIL を用いた下記 A)-C)の歩行課題を実施し、各課題時における歩行パフォーマンス（歩行速度・歩幅・歩隔等）や運動学的パラメータ（体幹および骨盤の加速度等）を比較することで、認知機能の低下した高齢者群における歩行特徴を抽出した。

A) 平地歩行（VR あり、道路を投影）、60 秒間

B) 平地歩行（VR あり、道路を投影、二重課題①を付与）、60 秒間

C) 平地歩行（VR あり、道路を投影、二重課題②付与）、60 秒間

B), C)における二重課題①と②については、各平地歩行課題中に、①自分の知っている動物の呼称課題、②「か」から始まる言葉の呼称課題を付与することで実施した。また、当初の研究計画では、SP モードを用いた歩行課題を計画していたが、前年度における予備的調査の結果、SP モードへの適応が困難な対象者も存在したため、固定速度下（10 m 通常歩行で得られた歩行速度の約 0.6-0.7 倍）での歩行課題へ変更した。その結果、B)と C)における二重課題については、健常高齢群と認知機能の低下した高齢者群ともに、前半より後半に課題パフォーマンス（言葉の呼称数）の低下が認められた。一方、前半の課題パフォーマンスに注目すると、認知機能低下群は健常高齢者群と比較して有意に低下することがわかった。さらに、歩行中の体幹および骨盤の加速度波形における、通常歩行課題と二重歩行課題間の相互相関係数を算出した結果、認知機能低下群の方が有意に低いことがわかった。以上より、歩行時における認知課題の付与によって、歩行運動に影響を及ぼす程度が、認知機能低下群と健常群間において異なる可能性が明らかになった。

課題 2: 開発した無動力歩行支援機器を用いて、GRAIL 上で装着・評価するための実験系を構築した。主に、歩行支援機器装着時におけるモーションキャプチャーを用いた歩行分析の実現可能性について検証し、十分な精度をもって計測・解析できることを確認した。次に、分担研究者である佐野らが開発した無動力の歩行支援機器を用いて、GRAIL 上で装着・評価するための実験系を構築した。予備検討として、歩行支援機器装着時において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、モーションキャプチャーを用いた歩行分析が十分な精度で実施できることを確認した。

2020 年度

課題 1: 2019 年度の結果を受けて、認知機能の低下した高齢者やフレイルに特徴的な歩行パラメータを抽出するための新規評価法の開発を進めた。分担研究者の牛場は、通常の三次元骨格モデルの推定に関して、背景画像等に多様性がある場合に生じる特徴点抽出精度の劣

化に対応した信号処理パイプラインを開発した。具体的には、表面解剖学的標点となるピクセルパターンを深層学習する信号処理パイプラインを考案した。このパイプラインでは、表面解剖学に精通した 2 名の理学療法士をアノテータと定義して、同一の歩行動画に対して独立に三次元骨格モデル用関節位置をアノテーションする。その後、2つのアノテーション位置の平均二乗誤差 (Mean Square Error; MSE) が5 ピクセル未満だったケースについては、深層学習骨格推定アルゴリズム DeepLabCut (Mathis et al. Nat Neurosci 2018)の学習データとして利用し、ニューラルネットのパラメータチューニングをおこなう。このとき、DeepLabCut 内部で計算される尤度関数と損失関数を指標として再帰的なチューニングを実行することで、最終的にはアノテータ (人) の目視による関節位置の推定精度となることを目指す。用意する学習用歩行データの背景画像はなるべく多様になるよう留意して、学習データの組のなかから真に表面解剖学的標点を構成するピクセルパターンのみをニューラルネットが抽出できるようにした。

課題 2: 課題 1 における GRAIL を用いた歩行分析法を活用し、健常若年者および健常高齢者において無動力の歩行支援機器の装着時における歩容変化および取り外し後の持越し効果について検証を進めた。2020 年度は、分担研究者の佐野がこれまで開発した無動力歩行支援機器“aLQ”を用いて、装着時における歩行速度・ストライド長・ケイデンスの変化に注目した効果検証を行った。初めに、健常若年者 5 名を対象として GRAIL を用いた平地歩行課題 (SP モード) にて、1) aLQ 装着前、2) aLQ 装着時における快適速度を探索する歩行課題を実施した。その結果、aLQ の装着時においては、装着無と比較して、快適歩行速度が約 1.1-1.2 倍増加する傾向があることを認めた。さらに、ストライド長も同様に約 1.1-1.2 倍増加する一方、ケイデンスに変化は無かった。次に、健常成人 5 名のうち 2 名において、aLQ 装着後に aLQ を取り外して、再度、快適歩行速度を探索する歩行課題を実施した。その結果、aLQ 取り外し後においても、装着前と比較して歩行速度およびストライド長が約 1.1 倍増加する傾向を認めた。次に、aLQ 装着効果の運動学的メカニズムを検証するため、歩行パフォーマンスとともに、運動学的パラメータ (下肢関節角度および下肢表面筋活動) の検証を行った。それらを検証するため、分担研究者の渡邊は、関節の屈曲と膝関節の伸展に関与する二関節筋である「大腿直筋」に注目し、aLQ の効果検証として応用できる大腿直筋の筋電図計測法の開発に取り組んだ。これまで、分担研究者の渡邊は、大腿直筋には近位部と中央部との間で歩行時における明確な機能的役割の違いを有しており、このような現象が加齢にともなって減弱することを報告してきた。一方、このような解析では 18 個~36 個の表面筋電図の電極を筋全体に網羅的に配置するという手法がとられており、汎用性が高いとは言い難い。そこで、歩行時における大腿直筋の近位部と中央部と間の独立した活動を評価するための簡易的な方法を確立するための調査を行った。若齢男性 7 名および高齢男性 8 名がトレッドミル上を歩行している際に大腿直筋の近位部 6 ヶ所から記録された表面筋電図と大腿直筋の中央部で記録された表面筋電図を比較し、その活動パターンの差異を検討した。その結果、若齢者および高齢者ともに Stance

phase では、電極位置間で有意な差は認められなかった。一方、Swing phase では、若齢者および高齢者ともに電極位置間で有意な差が認められた。Post-hoc test の結果、中央部とCH1~CH3 との間に差異が見られる傾向があった。以上の結果から、近位部と中央部の2ヶ所から記録された表面筋電図であっても、大腿直筋の近位部と中央部間の独立した活動を評価できる可能性が示され、大腿直筋の筋長の25%と50%の位置が好ましいと結論付けられた。これらの知見を生かして、GRAIL 上の歩行時における下肢表面筋電図計測およびマーカーレスモーションキャプチャリング技術を用いて、aLQ 装着による歩容と下肢筋活動の変化について検証した。具体的には、健常若年者6名および健常高齢者7名を対象として、GRAIL 上で(i) Slow (トレッドミル快適歩行速度-1 km/h)、(ii) Normal (トレッドミル快適歩行速度)、(iii) Fast (トレッドミル快適歩行速度+1 km/h) の歩行速度条件下における歩行課題と快適歩行速度下における平地歩行課題を実施した。右下肢表面筋電図を計測する筋部位は、1) 大腿直筋近位部 (大腿直筋の筋長の25%)、2) 大腿直筋中央部 (大腿直筋の筋長の50%)、3) 大腿直筋遠位部 (大腿直筋の筋長の75%) 4) 外側広筋、5) 腓腹筋、6) 前脛骨筋、7) 大殿筋の計7つとした。加えて、マーカーレスモーションキャプチャリング技術を用いて、各歩行課題中 (20 秒間) のストライド長、ステップ長、ケイデンス、単脚支持時間、両側股関節屈曲角度、両側膝関節屈曲角度、両側足関節背屈角度、両側股関節伸展角度、両側膝関節伸展角度、両側足関節底屈角度を算出した。その結果、3つの固定歩行速度 (Slow, Normal, Fast) 条件下において、aLQ 装着によるストライド長、ケイデンスの変化は認められなかった。一方、両下肢の股関節・膝関節・足関節の関節角度の変化については、3つの固定歩行速度 (Slow, Normal, Fast) 条件下において、aLQ 装着による股関節最大伸展角度の増加、膝関節最大屈曲角度の減少、足関節最大底屈角度の増加を認めた。次に、上記7つの筋部位における表面筋電図計測により、全波整流および平滑化処理を加えた後に、Swing Phase における筋活動を算出した結果、大腿直筋 (近位部、中央部) の活動が aLQ 装着時において約6%減少した。最後に、健常高齢者7名において、同様の実験を実施した結果、うち2名において3.5%程度、平地歩行速度が増加し、3名において、歩行速度に変化はなく、ストライド長が減少傾向である半面、ケイデンスが平均5%程度増加した。残る2名において、平地歩行での aLQ 装着における歩容変化はほとんど認められなかったが、トレッドミル上での歩行課題 (Normal: トレッドミル快適歩行速度) においては2.7~4.8%のストライド長の増加があり、全ての対象において歩行に何らかのプラスの変化を認めた。

D. 考察と結論

2018 年度

2018 年度においては、健常若年健常者を対象として GRAIL 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。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で最大値が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(Plotnik et al., *J Neuroeng Rehabil.* 2015)。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。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(Hollman et al., *Gait Posture*, 2007)。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進めていきたい。

2019年度

2019年度においては、認知機能の低下した高齢者および健常高齢者を対象としてGRAILを用いた歩行課題を実施し、歩行パフォーマンスおよび運動学的パラメータを比較することで、認知機能の低下した高齢者群における歩行特徴について探索した。その結果、認知機能低下群においては、二重歩行課題中の体幹および骨盤の加速度から見た歩行運動が、通常歩行と異なることが示唆された。これらの結果は、歩行時における認知課題の付与によって、歩行運動に影響を及ぼす程度が、認知機能低下群と健常群間において異なることを示唆している。今後、まだ解析が完了していない歩行課題での分析結果を含めて、認知機能低下群における歩容特徴についてさらに探索する。また、体幹/骨盤の加速度データは、GRAILによる計測に限らず、日常生活で簡便に装着可能な加速度センサを用いて計測することがで

きる。したがって、GR

AIL を用いた高精度歩行分析による探索的研究から、日常生活でも利用可能な計測プロトコルへ発展させることが本研究における重要な意義であると考えられる。

また、2019 年度においては、分担研究者である佐野らが開発した受動的力学機序を応用した歩行支援機器・ロボットを用いて、GRAIL 上で装着・評価するための実験系を構築することができた。今後は、同じく分担研究者である渡邊らが開発した表面筋電図計測プロトコルに従って、歩行パフォーマンス・運動学的パラメータ・神経筋活動の評価法を取り入れて、高齢者における歩行支援機器・ロボットの効果検証に繋げていきたい。

2020 年度

2020 年度においては、これまで開発を進めてきたマーカーレスモーションキャプチャリング技術および下肢表面筋電図計測技術を駆使して、aLQ 装着時における歩容変化を検証した。その結果、若年層においては、1) GRAIL 上での Self-Pace モードにおける快適速度・ストライド長が、aLQ 装着時に、約 1.1-1.2 倍増加する、2) GRAIL 上での Slow, Normal, Fast の固定速度条件下におけるストライド長・ケイデンスに変化はなかったが、aLQ 装着時に、股関節最大伸展角度の増加、膝関節最大屈曲角度の減少、足関節最大底屈角度の増加が認められた。また、Swing Phase における大腿直筋（近位部、中央部）の筋活動が、aLQ 装着によって約 6%減少した。1) の結果は、無動力歩行支援機器“aLQ”がストライド長の増加に関わる効果を持つことを示唆する。一方で、2) の結果は、1)と同様の傾向を示していないため、実験条件の違いによる影響が考えられるが、aLQ の効果についてはさらに検証が必要である。さらに関節角度および下肢筋活動について検証した結果、Swing Phase における大腿直筋（近位部、中央部）の筋活動が aLQ 装着によって減少傾向にあった。この結果は、aLQ の装着によって足の振り出しに係る筋負担の軽減につながる可能性が示唆される。しかしながら、下肢の振り出しに関連する筋活動は、大腿直筋のみならず、今回の計測では実施できなかった薄筋、縫工筋をはじめとする様々な筋活動を考慮する必要があるため、本研究の限界としてさらに検討が必要である。また、健常高齢者においても、aLQ を装着することにより、歩行に対して何らかのプラスの効果を確認したが、歩容に対する効果の現れ方が個人により違っていたことから、aLQ の効果を直接受ける対象となる歩行要素（動作、または筋）を抽出するには至らなかった。さらに、本研究は aLQ 装着による即時的効果（短時間の装着による変化）に注目していたため、使用者の装着による適応過程や学習過程を十分に考慮できなかった可能性が考えられる。今後は、より長期間での装着を試みて、十分に機器装着に適応した状態における歩容変化について検証する必要がある。

E. 健康危険情報

なし

F. 研究発表

1. 論文発表

2018年度

- 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) 近藤和泉, 高野映子, 加藤健治, 尾崎健一, 加賀谷斉, 平野哲, 長谷川泰久, 福田敏男: 転倒予防のエビデンス 転倒予防の試み-バランス訓練ロボット,杖ロボット-4(3), 246-251, 2018.
- 3) 加藤 健治: バーチャル・リアリティを活用したトレッドミルの開発と応用. 愛知県理学療法学会誌 30(2), 66-71, 2018.

2019年度

- 4) 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.
- 5) Itadera S, Aoyama T, Hasegawa Y, Aimoto K, Kato K, Kondo I. A clinical pilot study on posture stabilization via light contact with cane-type companion robot. *Robomech J.* 6(17), 1-12, 2019.

2020年度

- 6) Yoshimi T, Kato K, Tsuchimoto S, Mizuguchi N, Kondo I. Increase of verbal communication by long-term use of transfer-support robots in nursing facilities. *Geriatr. Gerontol. Int.* 2021;21:276–277. doi:10.1111/ggi.14113.
- 7) Yoshimi T, Kato K, Aimoto K, Sato K, Itoh N, Kondo I. Utilization of a transfer support equipment for meeting with family members in a nursing home during the COVID-19 pandemic: a case report. *Geriatr. Gerontol. Int.* 2021 (in press). doi:10.1111/ggi.14198.

2. 学会発表

2018年度

- 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.
- 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, 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, 2018.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 7) 相本啓太, 加藤健治, 長谷川泰久, 近藤和泉. 杖ロボット歩行時における床反力付きトレッドミルの足圧中心キャンセレーションシステムの開発第 34 回日本義肢装具学会学術大会口頭発表, 2018 年 11 月 11 日.

2019 年度

- 5) Kenji Kato : Gait analysis using a treadmill with a virtual reality for older people. The Fifth ICAH-NCGG Symposium, 11th May, 2019.
- 6) 近藤和泉, 加藤健治, 研究デザインと使用する評価尺度. 第 19 回 日本生活支援工学会大会, 2019 年 9 月 14 日.
- 7) 山本佳和, 板寺駿輝, 青山忠義, 長谷川泰久, 相本啓太, 加藤健治, 近藤和泉. 常時ライトタッチ可能とする自律同伴型杖ロボットの旋回動作時における同伴性能向上, 日本機械学会, 2019 年 9 月 8 日.

2020 年度

- 8) 市川明彦, 井澤大翔, 加藤健治, 相本啓太, 近藤和泉, 福田敏男, ライトタッチ効果を用いた杖型歩行補助ロボットの研究, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2020, 2020 年 5 月 27 日.
- 9) 御苗 眞己, 市川 明彦, 相本 啓太, 加藤 健治, 近藤 和泉, 福田 敏男. ドローンを用いた移動ライトタッチ効果によるリハビリ補助の研究, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2020, 2020 年 5 月 27 日.

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