

高齢者の健康長寿促進のためのロボット開発研究 (28-14)

主任研究者 近藤 和泉 国立長寿医療研究センター リハビリテーション科部 (部長)

研究要旨

我が国で急速に発展しつつある高齢者医療の中で、我々が取り組んで行かなければならない三つの大きな課題は、1)認知症、2)エンドオブライフ(人生の最終段階)および3)フレイル(虚弱)とされている。現在、関連企業と協力した国立長寿医療研究センターでの取り組みにより、フレイルの原因となるサルコペニアおよびバランス障害に対して、リハビリロボットによる介入が通常の訓練の数倍の効果を示すことが実証されつつある。また、認知症患者に対するアシスタントロボットの開発も急ピッチで進んでおり、先行研究でBPSDを改善させる基礎的な知見を得ている。さらに名古屋大学との共同研究により、杖・歩行器ロボットの開発も進んでおり、特に体力強化の部分で歩行器ロボットが安全で効果的であるという結果を出している。また、ロボットを含む生活装備品のIoT化を行い、高齢者の生活の見守りとサポート行う予備的な研究を開始している。本研究では、これら的高齢者に特化したロボット群の効果実証を短期間で行い、安全基準に準拠しながら、その社会実装を飛躍的に早めることを目的とする。

主任研究者

近藤 和泉 国立長寿医療研究センター リハビリテーション科部 (部長)

分担研究者

根本 哲也 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  
診療関連機器開発研究室 (室長)

高野 映子 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  
ロボット臨床評価研究室 (流動研究員)

谷本 正智 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)

野本 恵司 国立長寿医療研究センター リハビリテーション科部 (言語聴覚士)

才藤 栄一 藤田保健衛生大学 リハビリテーション医学 I 講座 (教授)

長谷川泰久 名古屋大学 大学院工学研究科 (教授)

山田 陽滋 名古屋大学 大学院工学研究科 (教授)

福田 敏男 名城大学 理工学部 メカトロニクス工学科 (教授)

## A. 研究目的

近年、着目されるようになったフレイルは高齢者に特有の疾患の発症リスクの増大、周囲に対する依存、機能障害、長期入院、施設入所および死亡率の増大など的高齢者の生活全般に影響を与える重大な帰結につながるとされ、75歳以上の高齢者の集団では、その20-30%がフレイルであると言われている。フレイルは高齢者の健康長寿への大きな阻害要因となっている。フレイルの原因としてサルコペニア（筋肉減少）、骨粗鬆症、加齢が主因のバランス障害、栄養障害、および消耗疾患後の体力低下などがある。特にバランス障害は、転倒後に起こる転倒恐怖を通じて、高齢者の活動性を低下させ、その結果として筋力低下およびサルコペニアを生じさせ、さらにバランス障害を悪化させるといった悪循環を引き起こす。転倒リスクのある高齢者のバランス障害を改善させることは、フレイルの予防・悪化防止を実現する上で非常に有効な手段であると言える。

一方、日本では現在約462万人の認知症患者が存在し、さらに2025年にはそれが約700万人に達すると推計されている。認知症患者全体の約5割を占めるアルツハイマー病は、その中核症状(認知障害、意欲・気力の障害など)以外に、周辺症状(幻覚・妄想などの精神症状や徘徊・異食などの行動異常、Behavioral and Psychological Symptoms of Dementia以下BPSD)が出現する。アルツハイマー病を含む認知症患者のうち約80%がBPSDを有しているといわれており、特にアルツハイマー病ではその進行の早い時期からBPSDが出現し、介護者と患者のQOLの低下およびストレスの増大など様々な問題を生じさせる。BPSDに対して、様々な薬物療法が試みられてきたが、その副作用のため認知機能や活動性を過度に失ってしまう高齢者も多く、薬物を使わない対処法が求められている。認知症に対する非薬物療法として、明確なエビデンスがあるのは回想法である。しかし効果的に回想法を実施するためには認知症患者の個人史の把握と、長時間の会話が前提となる。高齢化により介護のための労働資源が乏しくなりつつある現状では、家族を含めて介護担当者が認知症患者とゆっくり会話をする時間を持つことはできない。また一人の担当者が個別の高齢者の個人史を多数記憶して、回想法に導入していくことにも限界がある。このため、記憶能力を持ち、長時間の会話にも耐えられるロボットには、効果的な回想法を導入していく上で大きな利点がある。

Groovesら(1993)によれば、高齢者が好むのは居住していた地域にある自分の家であり、それが難しくなった場合でも、同じ地域の施設への居住を希望するとされている。ベッドからトイレまでの移動が困難となっただけで、施設入所を余儀なくされる高齢者も多く、また施設入所直後から認知能力が急速に低下し、重度のBPSDを発症する高齢者も少なくない。インテリジェント化された杖や歩行器などの歩行補助具があれば、ベッド・トイレ間の安全な移動がより確実なレベルで保証され、住み慣れた住居での生活の延伸化が図れる。また、デンマークのプライエボーリのような高齢者に利便性の高い住宅に早期に移り住むという考え方も、日本では一般的になりつつある。住宅はインテリジェント化することによって、さらに利便性が高まり、加えてロボットや備え付けのセンサーの配置により

IoT化が可能となれば、健康・安全面でのリスク管理が可能となる。このような住宅をアクセスの良い場所に集中的に建設すれば、社会サービス資源の供給の支援者の移動に関わる部分が削減でき、効率性も飛躍的に高まる。

## B. 研究方法

### (1) 全体計画

近藤和泉：国立長寿医療研究センター リハビリテーション科部・部長

根本哲也：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  
診療関連機器開発研究室・室長

高野映子：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  
ロボット臨床評価研究室・流動研究員

谷本正智：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

野本恵司：国立長寿医療研究センター リハビリテーション科部・言語聴覚士

才藤栄一：藤田保健衛生大学 リハビリテーション医学 I 講座・教授

長谷川泰久：名古屋大学 大学院工学研究科 マイクロ・ナノシステム工学専攻・教授

山田陽磁：名古屋大学 大学院工学研究科・教授

福田敏男：名城大学理工学部 メカトロニクス工学科・教授

以上8名のメンバーで、

1) バランス訓練ロボットによるフレイルの予防→才藤栄一・高野映子、近藤和泉、2) 杖ロボットの開発と社会実装→福田敏男・近藤和泉、3) ロボット開発における安全検証とリスクコントロール→山田陽磁・近藤和泉、4) アシスタント・ロボットによる認知・身体的能力の改善→原田恵司・高野映子、近藤和泉、5) 生活実装における安全検証とリスクカウンティング→根本哲也・近藤和泉、6) 歩行器ロボットによる体力増進→長谷川泰久、谷本正智・近藤和泉、7) 開発・製作企業との連携調整、全体の総括→近藤和泉という分担・配分で研究を行う。

### (2) 年度別計画

平成28年度

1) バランス訓練ロボットによるフレイルの予防→大腿骨近位部骨折患者に対する **Balance Exercise Assist Robot (BEAR)** を用いた練習効果に関する研究、2) 杖ロボットの開発と社会実装→杖ロボットの開発、3) ロボット開発における安全検証とリスクコントロール→開発段階からの安全検証教育とその効果、4) アシスタント・ロボットによる認知・身体的能力の改善→アシスタント・ロボットの介護施設への導入とその効果検証、5) 生活実装における安全検証とリスクカウンティング→ロボットの接触リスクの顕在化に関する計測方法の開発、6) 歩行器ロボットによる体力増進→歩行器ロボットのフレイル予防効果の検証

平成29年度

1) バランス訓練ロボットによるフレイルの予防→装着型ロボットの高齢脳卒中患者に対するバランス能力改善効果の検討、2) 杖ロボットの開発と社会実装→杖ロボットの歩行支援効果の検証、3) ロボット開発における安全検証とリスクコントロール→開発中のロボットの安全検証、4) アシスタント・ロボットによる認知・身体的能力の改善→動物型と傾聴型ロボットのフレイル・認知機能低下防止効果の比較検証、5) 生活実装における安全検証とリスクカウンティング→見守りシステムのリスクカウンティングに関する基礎的研究、6) 歩行器ロボットによる体力増進→歩行器ロボットへの見守り機能の追加・開発

平成30年度

1) バランス訓練ロボットによるフレイルの予防→バランス訓練ロボットの老人健康教室および地域包括ケアへの導入に関する大規模研究、2) 杖ロボットの開発と社会実装→杖ロボットの訓練場面での効果検証、3) ロボット開発における安全検証とリスクコントロール生活導入の際の安全検証、4) アシスタント・ロボットによる認知・身体的能力の改善→アシスタント・ロボットの生活導入とその効果検証、5) 生活実装における安全検証とリスクカウンティング→スマートハウスにおけるIoT化の効果研究、6) 歩行器ロボットによる体力増進→歩行器ロボットのトイレへの移動支援の実証研究

(倫理面への配慮)

本研究を実施するにあたっては、国立行政法人国立長寿医療研究センターに設置されている倫理・利益相反委員会の承認を得た上で、「調査介入および疫学研究における倫理指針」を遵守し、研究の内容や参加を拒否しても不利益にならないことなどを説明してインフォームドコンセントをとった上で実施する。データの取り扱いおよび管理に当たっても、研究対象者の不利益にならないような配慮を行う。

個人情報保護についての対策と措置

計測によって得られたデータおよび個人情報は、連結可能匿名化を行い、キーファイルとデータファイルは別々の鍵のかかる保管庫に収納する。また、データ保存時には暗号化を行い個人情報の保護に努める。

本研究の計画内では、実験動物を使った研究は行わない。

C. 研究結果

1) 大腿骨近位部骨折患者に対する Balance Exercise Assist Robot (BEAR) を用いた練習効果に関する研究では、FIM の歩行 (練習前  $5.9 \pm 0.5$ , 練習後  $6.2 \pm 0.6$ ,  $P = 0.010$ ) と 10m 歩行速度 (練習前  $44.7 \pm 18.0$  m/分, 練習後  $55.9 \pm 19.5$  m/分,  $P = 0.000$ ), TUG (練習前  $19.1 \pm 12.2$  秒, 練習後  $16.1 \pm 12.2$  秒,  $P = 0.016$ ), BBS の合計値 (練習前  $47.8 \pm 9.6$  点, 練習後  $50.0 \pm 7.4$  点,  $P = 0.021$ ), SIDE レベル ( $P = 0.028$ ) でも有意差があった。アンケートの結

果は、1)「BEAR 練習は楽しかったか？」は 7.8/10cm で「楽しかった」、2)「BEAR 練習と従来練習のどちらを続けたいか？」は 6.2/10cm で「BEAR 練習を続けたい」となった。2) 高齢者の健康長寿促進のためのロボット開発研究では、①杖ロボットの握り制御部分の開発が行われ、人が寄りかかったときの杖にかかる力を推定することが可能であることが確認され、②軽量杖に対する light touch による歩行時の身体動揺の計測では、杖を使用しない場合や、通常の杖を使った場合に比べて、身体動揺を抑制する効果があることが判明した。3) 高齢者の屋内歩行支援に関する研究では、アドミッタンス制御の実装により、歩行支援装置を 26.3%の荷重で駆動することができることがわかった。4) 高齢者・認知症患者に対するコミュニケーション効果の研究では、傾聴ロボットの使用により、MMSE および MOCA のスコアの改善が見られた。5) ロボットの接触リスクの顕在化に関する計測方法の開発では、抱きかかえ評価試作機を用いることにより抱きかかえ作業時の挟み込みの荷重値を測定できることがわかった。6) 杖ロボットによる歩行負荷の適応的制御アルゴリズムの開発では、オンライン PCI の最終値として得られる各運動の PCI は、目標 PCI に対して  $6.5 \pm 2.7\%$  に収束した。

#### D. 考察と結論

高齢者のフレイル予防のためには、十分な栄養補給に加えて、一定量の運動を定期的に行いサルコペニアの進行を防止する必要がある。一定量の運動を行うためには、ヒトが 1 歳前後から開始し、ほぼ一生に渡って継続される運動である歩行が最も適していると考えられるが、その最大の阻害要因として、下肢関節の変形性変化による痛みとバランス低下によって起こる転倒による外傷ないし転倒恐怖に伴う身体活動量の低下である。従ってまずバランス能力の低下予防のためにバランス訓練ロボットの開発・実証を行っているが、腿骨近位部骨折患者に対する Balance Exercise Assist Robot (BEAR) を用いた練習効果に関する研究では、歩行指標の改善および SIDE を評価尺度に使ったバランス指標の改善効果が得られ、さらにそれまで行ってきた通常訓練に比べて、BEAR は好評であった。このため、来年度に向けて BEAR の長期の転倒予防効果の検証および、地域に BEAR を投入した場合の予備実験を企画中である。また、安全な歩行のために杖ロボット、歩行支援機器の開発を行っているが、歩行支援機器では荷重量の軽減が得られ、杖ロボットでは歩行時の動揺性の軽減が得られている。特に歩行時の動揺軽減は、間接的に下肢関節の変形による痛みの改善につながることを予想される。また、もう一つの杖ロボットでは、歩行時の負荷が適正に加えられることが明らかになって、今後のこれらの歩行支援ロボットによって体力増進が可能になると考えられる。一方、傾聴ロボットによる認知機能の改善は、今回初めて実証され、今後、現在センターで行っている認知症のリハビリテーションクラスへの導入を今後検討していきたい。最後にロボットの接触リスクの顕在化に関する計測方法の開発では挟み込みの荷重値が一定であった場合でも、接触面の状態により圧力分布に差が生じることがわかり、特に胸部の場合には骨突出部近傍において応力が増大すると

考えられる。

E. 健康危険情報

なし

F. 研究発表

1. 論文発表

- 1) 近藤和泉. リハビリロボット. *BIO Clinica*, 32, 33-36, 2017年1月
- 2) Kenichi Ozaki, Izumi Kondo, Satoshi Hirano, Hitoshi Kagaya, Eiichi Saitoh, Aiko Osawa, Yoichi Fujinoti, Training with a balance exercise assist robot is more effective than conventional training for frail older adults. *Geriatrics Gerontology International*, 1-9, 2017
- 3) 近藤和泉. 高齢者のフレイルとリハビリテーション. *The journal of Japan Society*. 3, 107-109, 2017

2. 学会発表

- 1) I. Kondo, O. Kenichi, O. Aiko, M. Hiroshi, H. Satoshi, S. Eiichi, F. Youichi. Outcome from balance exercise assist robot (BEAR) for older adult with frailty suggested the existence of subgroup with early occurrence of balance disorder. 9th World Congress NeuroRehabilitation, 10-12 May, 2016, Philadelphia, USA
- 2) I. Kondo. Robot assisted balance exercise. 10th International Society of Physical & Rehabilitation Medicine (ISPRM) World Congress. 29 May-2 June, 2016, Kuala Lumpur, Malaysia
- 3) 清水康裕, 加藤譲司, 尾崎健一, 下平隆寛, 仁科裕之, 原修, 近藤和泉, 土屋隆. 虚弱・前虚弱高齢者間におけるバランス練習効果の比較～ロボットリハ, 従来練習介入による～, 第53回日本リハビリテーション医学会学術集会, 2016年6月9日-11日, 京都
- 4) 近藤和泉. 国立長寿医療研究センターにおけるロボットの実証実験の実施について 第5回医療・介護等分野ロボット実用化ワーキンググループ, 2016年9月26日, 大府
- 5) 近藤和泉. 教育講演4「ロボットリハの骨関節疾患への応用」 第127回中日本整形外科学会・学術集会. 2016年10月1日, 松本
- 6) Kondo I, Saitoh E. Difference of Response to Balance Training using Balance Exercise Assistant Robot Between Older Adults Categorized to Be Frail and Pre-frail. 2nd Asian Conference for Frailty and Sarcopenia Asian Aging Forum. 4-5 November, 2016, Nagoya

- 7) Takano E, Teranishi T, Satou K, Itoh N, Ozaki K, Kondo I. Preliminary trial of training using a balance exercise assist robot for inpatients with a hip fracture. Asian Prosthetic and Orthotic Scientific Meeting 2016, 4-6 November, 2016, Seoul, Korea
- 8) 近藤和泉. 看護・介護ロボット導入の現状と課題. 第70回国立病院総合医学会, 2016年11月11日-12日, 宜野湾市, 沖縄
- 9) Kondo I. Robotic and rehabilitation approach to frailty and dementia. The 12<sup>th</sup> International Symposium on Geriatrics and Gerontology, 4 March, 2017, Obu
- 10) 田口大輔, 佐藤健二, 尾崎健一, 橋本駿, 伊藤直樹, 近藤和泉. フレイル高齢者におけるバランス練習アシストの有用性. 第26回愛知県理学療法学会. 2017年3月5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