

長寿医療研究開発費 平成 29 年度 総括研究報告
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を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

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→下肢骨折受傷後のフレイルに対するバランス訓練ロボットの効果検証、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→生活場面でのセンサー設置の基礎的研究、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→大腿骨頸部骨折患者に対する再骨折予防訓練がバランス能力を改善させるかどうかの検証、2) 杖ロボットの開発と社会実装→杖ロボットの軽量化と歩行中の重心動揺を軽減できるかの検証、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→個人差に対応可能な歩行支援機の開発とリスクコントロール効果の検証、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生活機能に対する効果の比較検証、5) 生活実装における安全検証とリスクカウンティング→生活支援ロボットの外力による外相リスクを評価するダミー皮膚の開発、6) 歩行器ロボットによる体力増進→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

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通所リハ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化の効果研究企画、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、「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」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) 大腿骨頸部骨折患者に対する再骨折予防訓練がバランス能力を改善させるかどうかの検証研究では、17例(平均81±7歳、男:女=1:16、受傷側 右:左=8:9)が最終評価まで終了した。結果は、歩行自立度($p=.014$)、歩行速度($p<.001$, 図1)、Timed Up & Go Test (TUG, $p<.001$, 図2)、Berg Balance Scale (BBS, $p=.013$)、足関節底屈筋力の術側($p=.017$)および非術側($p=.016$, 図3)が有意に改善を認めた。Functional Reach Test および股関節外転筋力、膝関節底屈筋力は改善傾向ではあるが有意差は認めなかった。The Falls Efficacy Scale-International (FES-I)も有意差は認めず、6例で改善、11例で悪化していた。Standing Test for Imbalance and Disequilibrium (SIDE)も全体としては有意差を認めなかったが、転倒リスクのカットオフとなる2a/2b間を跨いで3例が改善を認めていた。2) 杖ロボットの軽量化と歩行中の重心動揺を軽減できるかの検証研究では、レーザー距離センサ及び装着型IMUセンサを組み合わせることで、歩行方向、歩行速度、歩様の推定が可能となった。特に、レーザー距離センサの計測範囲外に歩行者が移動した際にも、IMUデバイスを用いた歩行方向・速度の推定が可能となった。3) 個人差に対応可能な歩行支援機の開発とリスクコントロール効果の検証研究では、電装系に対する電気安全および通信安全、さらに機械安全の観点で、実証実験期間中のとくに被験者を対象とした安全性確保を目的として、安全要求水準を満たすべき妥当性確認の項目について、抽出を行った。4) 動物型と傾聴型ロボットの生活機能に対する効果の比較研究では、対象者6名(男性2名、女性

4名、平均年齢 81.0 歳) 中、入院により 2 名が脱落し、2 名が 8 週間同一のロボットの使用継続することができなかった。対象症例数が目標に達しなかったためもあり、ICF のコードで変化を検出できたものは 2 例のみであった。変化があったコードは、一見、ロボットの使用とは関係なさそうなものが多かった。ICF による活動と参加レベルが低下したコードは、入院中は実施していたが、状況的に考えて退院後は行わなくなるものであった。

5) 生活支援ロボットの外力による外傷リスクを評価するダミー皮膚の開発では、①生体軟組織の厚さが厚い (10mm 以上) 場合、衝撃を加える物体の質量、速度にかかわらず皮膚に入力されるエネルギーが同一であれば骨に伝わる荷重が同一になる一方、生体軟組織の厚さが薄い (10mm 以下) 場合、骨に伝わる荷重は速度依存の影響が大きく、同一のエネルギーであっても皮膚に衝撃を加える物体が重いほど (物体の速度が遅いほど) 骨に伝わる荷重が大きくなった。②ダミー皮膚 (人肌ゲル) の厚さが 5mm 以上の場合、ダミー皮膚に入力されるエネルギーが同一であれば最大透過荷重は同一であった。また、硬度 0, 7 のダミー皮膚では入力エネルギーに対する緩衝性能は非常に線形性が高く、入力エネルギー測定用軟組織として適した材料であると考えられた。③ダミー皮膚を用いて外力をエネルギーで換算することで、生体軟組織の厚さを係数として骨に伝わる荷重を算出する手法が明らかになった。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、杖ロボットの操作は実現できたが歩行のパターン分類で誤判定が多く滑らかに動作しない部分があった。このためパラメーターを自動で最適化する手法が必要であると考えられた。

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、大腿骨頸部骨折患者に対する再骨折予防訓練がバランス能力を改善させるかどうかの検証研究では、動的バランスの指標で改善が認められ、ロボット訓練後 (退院の時点) でバランス能力の底上げが達成できたと考えられた。このため、長期の転倒予防効果の検証および、通所リハに BEAR を投入した場合の効果を検証中である。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 light touch ないし no touch 下でのロボットの運動制御機能の改善、杖ロボットでは操作性の改善が試みられている。一方、今回初めて動物型と傾聴型ロボットの生活機能に対する効果の比較研究が行われたが、研究期間の制約および実証指標が入院中から在宅生活への移行を捉えるうえでは適したものでは無かったので、今後、在宅生活に限定しての検討を行っていき。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ダミー皮膚が外傷リスクの検証

に適用可能であることがわかり、今後のロボットと人体のインターフェースの開発において有益な指標が得られたと考えられた。

E. 健康危険情報

なし

F. 研究発表

1. 論文発表

- 1) Ozaki K, Kondo I, Hirano S, Kagaya H, Saitoh E, Osawa A, Fujinori Y : Training with a balance exercise assist robot is more effective than conventional training for frail older adults. *Geriatrics & Gerontology International*, 2017 Mar 10, doi: 10.1111/ggi.13009

2. 学会発表

- 1) Kondo I : Frailty of older adults and rehabilitation for it. Scientific Conference on Rehabilitation Medicine between Fujita Health University & University of São Paulo, 2 April, 2017, Toyoake
- 2) Kondo I, Ozaki K, Tanioku T, Taguchi D, Sato K, Ito K, Takano E, Satake S, Kinoshita K, Matsuo H, Ohsawa A, Itoh N, Hirano S, Kagaya H, Saitoh E, Shintani K : EFFECTIVENESS OF BALANCE ASSIST EXERCISE ROBOT (BEAR) FOR PEOPLE WITH FRAILITY AS COMPARED TO EXERCISE CLASS AND AMINO ACID SUPPLEMENT. 11th International Society of Physical and Rehabilitation Medicine (ISPRM) World Congress, 30 April - 4 May, 2017, Buenos Aires, Argentina
- 3) 近藤和泉 : ロボット/ICT を用いた認知症医療研究 -傾聴ロボット、指タップ研究-. 国立研究開発法人日本医療研究開発機構 AMED シンポジウム 2017 ～医療研究がめざす未来の笑顔～, 2017年5月30日, 東京
- 4) Kondo I, Harada A, Ozaki K, Ohsawa A, Matsuo H, Hirano S, Kagaya H, Saitoh E : Outcome from Balance Exercise Assist Robot for Subgroup of Frailty with Early Balance Disorder. 第54回日本リハビリテーション医学会学術集会, 2017年6月8日-10日, 岡山市
- 5) Izumi Kondo : The use of functional skill difficulty in paediatric neurorehabilitation. Asia Oceanian Congress for NeuroRehabilitation 2017, August 8-10, 2017, Tagaytay City, Philippines

- 6) 近藤和泉：認知症のリハビリテーション—進行度に応じた対応と IT の導入—。第 1 回日本リハビリテーション医学会秋季学術集会, 2017 年 10 月 28 日-29 日, 大阪市
- 7) 近藤和泉：高齢者の未来と高齢化社会におけるロボットの役割. 京都ライフサイエンスプロジェクト成長展開事業 平成 29 年度第 2 回ライフサイエンス・ビジネスセミナー, 2017 年 11 月 27 日, 京都市
- 8) 近藤和泉：認知情動支援ロボットの現状と開発の方向性—認知症に対する医療・ケアの観点から—。藤田リハビリテーション医学・運動学研究会主催 部門研修会 特別企画「認知情動支援ロボットの現状と未来」, 2018 年 1 月 30 日, 豊明市, 愛知県
- 9) Eiko Takano, Aiko Osawa, Ikue Ueda, Naoki Itoh, Izumi Kondo : Trail of recreation with humanoid robot for frail older adults. The 10th World Congress for Neurorehabilitation, February 7-10, 2018, Mumbai, India

G. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

番号, : 6263517、名称: エアセルユニット、マットレス、クッション及び介護ロボット, 特許権者:株式会社エトス、国立研究開発法人国立長寿医療研究センター、発明者: 古田勝経、根本哲也、近藤和泉、原田敦、佐山行宏、登録日: 平成 29 年 12 月 22 日

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし