

高齢者の筋骨格系変性を改善・予防する在宅ロボットリハビリシステム開発とその実証試験

研究代表者 住谷昌彦 東京大学医学部附属病院 緩和ケア診療部 部長(准教授)

研究要旨

加齢による筋骨格系の変性と疼痛による身体活動の低下は関節拘縮や筋力低下の増悪を引き起こし転倒と骨折、さらに寝たきりといった重度の身体活動の制限を来す悪循環（ロコモティブ症候群）を形成しており、加齢による筋骨格系変性の予防と改善が必要である。本研究では、2014年度末に特許申請した在宅ロボット・リハビリシステムについて、遠隔地での（1）患者/高齢者の運動情報の取得機能の構成、（2）複数人の患者/高齢者の複数回の運動情報の保管・統合機能の構成、（3）患者/高齢者に提示する運動教示（デモ）の送信機能の構成を開発し、在宅ロボット・リハビリシステムの遠隔化とオーダーメイド化、個々の患者/高齢者のリハビリの最適化を実現する機能開発を行った。

分担研究者

四津有人 東京大学大学院 特任助教

A. 研究目的

医療の進歩によって平均寿命は延び高齢者人口が増加し続けているが、高齢者の多くが身体に関する愁訴を持ち実際に身体活動に制限があるため、健康寿命は平均寿命よりも約10歳下回っている。さらに、健康寿命の延長は平均寿命に比して鈍化しており、不健康な高齢者が増加している。高齢者の身体活動制限の最大の原因は加齢による筋骨格系の変性と疼痛であり、これらによる身体活動の低下は関節拘縮や筋力低下の増悪を引き起こし転倒と骨折、さらに寝たきりといった重度の身体活動の制限を来す悪循環（ロコモティブ症候群）を形成しており、加齢による筋骨格系変性の予防と改善は喫緊の健康課題である。このような課題を解決するために2014年度に開発、特許化した在宅ロボット・リハビリシステムについて、インターネットを介して距離的に離れた2地点で同時に使用する双方向性の情報交換機能を開発し、在宅ロボット・リハビリの遠隔化とオーダーメイド化、さらに複数患者の運動情報の収集と保管、統合によるリハビリ指導の最適化を実現することを目的とする。

B. 研究方法

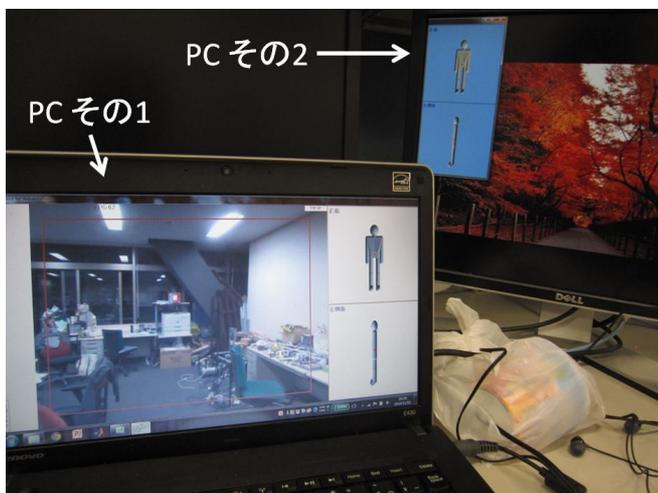
現在は1台のPCで在宅ロボット・リハビリシステムを使用しているが、これをインターネット回線を介して離れた距離にある2台のPCを繋ぐことによって、（1）遠隔地に居住する患者/高齢者の運動情報を取得する、（2）遠隔地で在宅ロボット・リハビリシステムを使用している患者/高齢者に提示する運動教示（デモ）を適宜配信しリハビリメニューを変更することができるようにする、（3）複数の患者/高齢者が実行した運動情報を、経時的な変化が追えるように複数回分を統合的に保管することによってデータベース化し、患者全体のリハビリ進捗状況を俯瞰、解析することによって個々の患者に対するリハビリメニューの最適化に繋げる、システム構成を開発する。

（倫理面への配慮）

システム開発であるため倫理的配慮は不要である。

C. 研究結果

（1）遠隔操作できるようにシステム構成した。これにより遠隔地での在宅ロボット・リハビリの実施に向けて、患者/高齢者自身が、自分でパソコン操作ができない場合にも補助者（家族や医療者）が遠隔地からシステム操作できるようになり、在宅ロボット・リハビリシステムを自宅で導入・実施できるような環境を整備した（図）。患者/高齢者の運動情報



は、頭部・胸部・両肩・両肘・両手関節・両手部・腰部・骨盤・両股関節・両膝・両足関節・両足部の合計20箇所の位置情報の経時的变化のみを取得、送信するため、ビデオカメラで記録した動画に比して約1/20のファイル容量 [例：動画=160MB/2分間 (720×480, 0.6Mbps; 本開発=8MB/2分間)]である。したがって、インターネット環境にほとんど依存せず、遠隔地でのreal-time運動情報取得が可能となった。また、動画が配信されないことにより患者/高齢者の自宅内部の様子や服装を遠隔地にいる医療者に見られることがなくプライバシー保護ができる。

(2) 在宅ロボット・リハビリシステムで提示する運動教示(デモ)の情報を、遠隔地にいる補助者(家族や医療者)から患者/高齢者のPCに送信するシステムを構成した。これにより患者の運動情報や体調に合わせて運動教示(デモ)を行えるようになり、在宅オーダーメイドリハビリが可能となる環境が整備できた。

(3) 在宅ロボット・リハビリシステムで得られた患者/高齢者の運動情報をインターネット回線を介して遠隔地のPCで取得・保管するシステムを構成し、さらに、取得できる患者/高齢者の運動情報は複数人のデータを纏めることができ、また、患者/高齢者の経時的变化を追えるよう複数回の運動情報のデータを統合化して保管できるようにした。このようなデータベースの構築は、複数患者/高齢者の複数回の運動情報とその経時的变化(進捗状況)を解析できることになり、患者全体に対する運動教示(デモ)の最適化や個々の患者に対する運動教示(デモ)の最適化の基盤となる環境が整備できた。

#### D. 考察

在宅ロボット・リハビリシステムを、インターネットを介して距離的に離れた2箇所で同時に使用でき

るようなシステム構成にした。これは、患者/高齢者の運動情報を遠隔地にいる補助者(家族や医療者)が取得することによって患者/高齢者が自宅で運動を実際に行っているだけでなく、正しい運動を行っているかという運動の質の評価を行えるようになったことを意味する。また、逆方向に、患者/高齢者に提示する運動教示(デモ)の運動情報を患者/高齢者が自宅で使用しているPCに送信する機能を構成したことにより患者/高齢者の運動機能に応じた運動教示(デモ)を提供できるようになり、在宅リハビリをオーダーメイドで実施できるようになったことを意味する。また、遠隔地の患者/高齢者からインターネットを介して収集した運動情報を、医療機関側で保管するだけでなく、複数人の患者/高齢者の運動情報を、経時的な変化を追える複数回のデータとした統合するシステムを構成することにより、患者の運動情報のデータベース化できた。将来的には患者/高齢者の運動特性やリハビリに対する反応性などの解析を行うことができ、患者に提供する運動教示(デモ)の最適化が可能になる。

以上のような遠隔操作機能自体は既存のインフラであるインターネット回線を利用していることとインターネット双方向性の数メガバイト程度の情報の配信機能であるため、本学技術移転機関によって特許化およびプログラムに対する著作権化は困難であると判断されたため申請は見送ることとなった。

同時に、2015年4月1日の厚労省「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」の公布とそれに対する施設内の倫理基準の見直しに適合した臨床試験プロトコルの作成を行い、実臨床での在宅ロボットリハビリシステムを使用するための環境整備を行った。2015年6月から臨床試験を開始予定である。

患者装着型ロボット・パワーアシストスーツによる筋力増強効果の検証を行うことにしていたが、装着型ロボット福祉技術の安全基準ISO013482が2013年度末に制定され、我々の開発機器は本認証を受けおらず、また共同機器開発企業も本認証を受ける意志を持っていないため、本開発機器の安全性を基準に基づいて客観的に示せないことから、患者に対して適用することが倫理的に困難であると考えられたため、患者装着型ロボット・パワーアシストスーツの臨床試験は実施しないこととした。ただし、2013年度に我々は単回の運動指導によっても患者/高齢者の運動機能が改善し、運動器の慢性疼痛も改善したことを示しており、単純な筋力増強よりも正しい運動としての”身のこなし”を指導することのほうが重要であるという結論に至っているため、ロボット・パワーアシストスーツの臨床試験は取りやめ、在宅ロボット・リハビリシステムの開発と臨床試験の準備に注力した。

#### E. 結論

2014年度末に特許申請を予定したシステム構成を、2013年末までに前倒し的に開発したため、今年度は遠隔機能の構成を継続的に行った。

#### F. 健康危険情報

なし

#### G. 研究発表

##### 1. 論文発表

- 01) Sumitani M, Ueda H, Hozumi J, Inoue R, Kogure T, Ogata T, Yamada Y. Minocycline does not decrease intensity of neuropathic pain, but improves its affective dimension. *J Pain Palliat Care Pharmacother* 2014 in press
- 02) Sumitani M, Misaki M, Kumagaya S, Ogata T, Yamada Y, Miyauchi S. Dissociation in accessing space and number representation in pathologic pain patients. *Brain and Cognition* 2014; 90: 151-6
- 03) Sumitani M, Yasunaga H, Uchida K, Horiguchi H, Nakamura M, Ohe K, Fushima K, Matsuda S, Yamada Y. Perioperative factors affecting the occurrence of acute complex regional pain syndrome following limb bone fracture surgery: Data from the Japanese Diagnosis Procedure Combination database. *Rheumatology* 2014; 53: 1186-93
- 04) Uchida K, Yasunaga H, Sumitani M, Horiguchi H, Fushimi K, Yamada Y. Effects of remifentanyl on in-hospital mortality and length of stay following clipping of intracranial aneurysm: a propensity score-matched analysis. *J Neurosurg Anesthesiol* 2014; 26: 291-8
- 05) Kogure T, Sumitani M, Suka M, Ishikawa H, Odajima T, Igarashi A, Kusama M, Okamoto M, Sugimori H, Kawahara K. Validity and Reliability of the Japanese version of the Newest Vital Sign: a preliminary study. *Plos One* 2014; 9: e94582
- 06) Suka M, Odajima T, Okamoto M, Sumitani M, Nakayama T, Sugimori H. Reading comprehension of health checkup reports and health literacy in Japanese people. *Environmental Health and Preventive Medicine* 2014; 19: 295-306
- 07) Nakamura M, Nishiwaki Y, Sumitani M, Ushida T, Yamashita T, Konno S, Taguchi T, Toyama Y. Investigation of chronic musculoskeletal pain (third report): with special reference to the importance of neuropathic pain and psychogenic pain. *J Orthop Sci* 2014; 19: 667-75
- 08) Obuchi M, Sumitani M, Shin M, Ishii K, Kogure T, Miyauchi S, Yamada Y. Spinal cord stimulation ameliorates neuropathic pain-related sleep disorders: a case series. *Neuromodulation* 2014 (in press)
- 09) 住谷昌彦 山内英子 松平浩. トラマドールの薬物相互作用. *ペインクリニック* 2014; 35: S398-406
- 10) 住谷昌彦 山内英子 山田芳嗣. WHO 方式 2nd step のあらたな潮流-古くて新しい鎮痛薬トラマドール-. *医学のあゆみ* 2014; 248: 440-4
- 11) 住谷昌彦 松林嘉孝 筑田博隆 竹下克志 山田芳嗣. 慢性腰痛に対する薬物療法はどのように行うか. *Modern Physician* 2014; 34: 299-303
- 12) 住谷昌彦 松平浩 筑田博隆 竹下克志. プレガバリン(リリカ®). *ペインクリニック* 2014; 35: 330-6
- 13) 住谷昌彦 緒方徹. 神経リハビリテーション治療. *脳* 2014;17: 238-43
- 14) 住谷昌彦 熊谷晋一郎 宮内哲 眞下節 吉川雅博 松本吉央 山田芳嗣. ミラーニューロンの基礎と疼痛治療への応用: 鏡療法と認知神経ロボティクス. *ペインクリニック* 2014; 35: S199-207
- 15) 住谷昌彦 熊谷晋一郎 宮内哲 山田芳嗣. CRPS の高次認知機能障害とその治療応用-視野偏位プリズム順応療法-. *ペインクリニック* 2014; 35: S99-105
- 16) 住谷昌彦 熊谷晋一郎 宮内哲 山田芳嗣. 幻肢痛の鏡療法-幻肢痛の性質と中枢性機序-. *ペインクリニック* 2014; 35: S113-20
- 17) 住谷昌彦 熊谷晋一郎 緒方徹 宮内哲. 難治性疼痛に対する神経リハビリテーション. *ペインクリニック* 2014; 35: S265-76
- 18) 花岡一雄 小川節郎 堀田饒 佐藤譲 菊地臣一 棚橋紀夫 片山容一 細川豊史 紺野慎一 鈴木則宏 関口美穂 山本隆充 住谷昌彦. わが国における神経障害性疼痛治療の進展と今後の展望-専門家によるコンセンサス会議からの提言-. *ペインクリニック* 2014; 35: S299-310
- 19) 住谷昌彦. 痛みの研究手法 - 遺伝子解析. 「痛み診療キーポイント」編集: 川真田樹人 文光堂 p18, 2014

- 20) 住谷昌彦. 上殿皮神経痛. 「痛み診療キーポイント」編集:川真田樹人 文光堂 p149-50, 2014
- 21) 住谷昌彦. 鏡療法. 「痛み診療キーポイント」編集:川真田樹人 文光堂 p248-9, 2014
- 22) 住谷昌彦 竹下克志. 腰痛治療の選択 - 集学的なアプローチ. 「痛み診療キーポイント」編集:山本達郎 文光堂 p221-6, 2014
- 23) 住谷昌彦. 個々の患者に応じた治療の重要性. 「21世紀のオピオイド治療」監訳:井関雅子, 橋口さおり メディカルサイエンス・インターナショナル p128-138, 2014
- 24) 田中栄 住谷昌彦. 痛み発生のメカニズム(侵害受容性疼痛と神経障害性疼痛). 「痛みのマネジメント Update」編集:花岡一雄 田中栄 日本医師会雑誌 2014; 143: s.2-3
- 25) 住谷昌彦. 頭部痛. 「痛みのマネジメント Update」編集:花岡一雄 田中栄 日本医師会雑誌 2014; 143: s240-1
- 26) 住谷昌彦 山内俊一. 痛みの最新治療. ドクターサロン 2014; 58: 571-5
- 27) 磯村達也 住谷昌彦 松平浩 木村智政 Michael I. Bennett 川口美佳 佐藤恵美子 木村美雪 犬塚恭子早川和宏. 日本語版 Leeds Assessment of Neuropathic Symptoms and Signs Pain Scale (LANSS 痛みスケール)の開発:言語的妥当性を担保した翻訳版の作成. ペインクリニック 2014; 35: 933-40
- 28) 松平浩 住谷昌彦. リハビリテーション・運動療法. 「あなたも名医!患者さんを苦しめる慢性痛にアタック!慢性の痛みとの上手な付き合い方」編集:小川節郎 日本医事新報社 p164-70
- 29) 住谷昌彦. ロコモティブシンドローム対策としての慢性疼痛治療. 大阪臨床整形外科医会報 2014; 40: 97-9
- 30) 住谷昌彦 山田芳嗣. 抗うつ薬(1). 「症例で身につくがん疼痛治療薬の選び方・使い方」編集:山口茂樹, 下山直人 羊土社 2014 p.157-61
- 31) 住谷昌彦 山田芳嗣. 抗癌薬. 「症例で身につくがん疼痛治療薬の選び方・使い方」編集:山口茂樹, 下山直人 羊土社 2014 p.165-9
- 32) 住谷昌彦 松平浩 熊谷晋一郎. 痛みの新しい大脳メカニズムと中枢機能障害性疼痛. ペインクリニック 2014; 35: 1191-8
- 33) 住谷昌彦 松平浩. 慢性疼痛症候群をめぐって. Medical Practice 2014; 31: 1688-9
- 34) 住谷昌彦. 末梢神経障害性疼痛から中枢機能障害性疼痛へ. Peripheral Nerve 2014; 25: 280-3
- 35) 井上玲央 住谷昌彦 穂積淳 緒方徹 熊谷晋一郎 山田芳嗣. 痛みの感覚要素の大脳認知メカニズム. 麻酔 2014; 63: S44-9

## 2. 学会発表

- 01) 住谷昌彦. 運動器の痛みと炎症 - メタボリック症候群 -. 第4回盛岡臨床整形外科医会学術講演会. 岩手, 2014.4
- 02) 住谷昌彦. ペインクリニックから考える筋骨格系の痛みのピットフォール. 日常診療における痛みの研究会. 東京, 2014.4
- 03) 住谷昌彦. リウマチ性疾患患者が抱える身体的な痛み. 日本リウマチ学会, シンポジウム. 東京, 2014.5
- 04) 住谷昌彦. 炎症が無くなったRAに残存する痛みの正体:その機序と薬物治療. 日本リウマチ学会, 特別講演. 東京, 2014.5
- 05) 住谷昌彦. こどもの痛み. 日本産婦人科学会. 東京, 2014.5
- 06) 住谷昌彦. CRPSの発症機序を探る - 末梢性か中枢性か? -. 日本手の外科学会, 特別講演. 沖縄, 2015.5
- 07) 住谷昌彦. こどもの痛み. 日本小児科学会, 特別講演. 東京, 2014.5
- 08) 住谷昌彦. 運動器疼痛に対する実践的薬物治療戦略. 日本整形外科学会, 特別講演. 神戸, 2014.5
- 09) 住谷昌彦. 痛みの感覚と情動認知の大脳メカニズム. 日本麻酔科学会, 特別講演. 横浜, 2014.5
- 10) 住谷昌彦. がん性疼痛における神経障害性疼痛の治療戦略. 日本緩和医療学会, 特別講演. 横浜, 2014, 7
- 11) 住谷昌彦. 四肢骨折術後の慢性疼痛の病態と薬物療法. 日本ペインクリニック学会関西地方会, 特別講演. 大阪, 2014, 6
- 12) 住谷昌彦. 脊髄刺激療法(SCS)の適応の考え方と慢性疼痛診療における位置付け. 日本疼痛学会, 特別講演. 大阪, 2014, 7
- 13) 住谷昌彦. がん性疼痛における神経障害性疼痛の治療戦略. 日本緩和医療学会, 特別講演. 横浜, 2014, 7
- 14) 住谷昌彦. 新しい痛みの病態:中枢機能障害性疼

痛とその薬物療法. 日本ペインクリニック学会,  
特別講演. 東京, 2014, 7

- 15) 住谷昌彦. 四肢骨折術後の慢性疼痛の病態と薬物療法. 日本臨床整形外科医会特別講演. 仙台, 2014, 6
- 16) 住谷昌彦. 慢性疼痛の薬物選択. 在宅医療フォーラム, 特別講演. 名古屋, 2014, 8
- 17) 住谷昌彦. 末梢神経障害性疼痛から中枢機能障害性疼痛へ. 日本末梢神経学会, 特別講演. 京都, 2014, 8

#### H. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む）

1. 特許取得  
なし
2. 実用新案登録  
なし
3. その他  
なし