

令和 5 年 6 月 6 日現在

機関番号：94301

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K20263

研究課題名(和文)介護予防のための動作姿勢認知能力評価手法と動作教示ロボットシステムの開発

研究課題名(英文)Development of motion teaching robot system and self-posture-evaluation method toward care prevention

研究代表者

高井 飛鳥(TAKAI, Asuka)

株式会社国際電気通信基礎技術研究所・脳情報通信総合研究所・客員研究員

研究者番号：70769843

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文):本研究では、70～80歳の健常な高齢者を対象にして、脳波の計測とロボット介入を組み合わせた運動課題を通じて、I:動作姿勢を認知する能力を評価、II:認知能力を向上させるための訓練方法の開発、III:動作姿勢を教示するアシストシステムの設計を目標としていた。しかしながら、採択年度から、COVID-19の影響により、高齢者(65歳以上)を対象とした実験が行えなくなった。そのため、対象を若年の健常者に変更した。また、運動データや身体・ロボットのモデリングおよび解析を中心に、研究開発を進めた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、独自の脳・ロボット介入フィードバックを利用して、個々の人に最適な運動教示方法を評価し、動作を学習させるのに適切な条件を調査することを目指している。運動教示ロボットを用いた運動学習における影響要因を明らかにすることは、機能予後に応じた支援方法の構築に寄与すると考えられる。また、身体機能に応じた最適な教示手法を選択する方法論の構築に貢献すると期待できる。

研究成果の概要(英文):The objective of this study is to develop an assistive system aimed at mitigating the decline in physical function among healthy elderly individuals aged 70 to 80 years. The proposed system utilizes robotic technology to provide instruction on correct posture and precise movements, thereby promoting independence and reducing the need for caregiving. The research focuses on four key aspects: examining the correlation between motor performance and brain activity during robot-guided training, estimating the potential for performance enhancement through robotic training based on initial motor capabilities, identifying factors that influence motor strategies in collaborative tasks involving robots, and designing a robot that facilitates optimal sit-to-stand movements. However, as a consequence of COVID-19 pandemic, it was not allowed to conduct experiments involving elderly participants (aged 65 years and above). Thus, this study was conducted on healthy young adults instead of elderly.

研究分野: ヒューマンインタフェース・ヒューマンインタラクション

キーワード: 動作教示ロボット 脳波解析 運動データ解析 モデリング

1. 研究開始当初の背景

「高齢による虚弱・老衰のため」に要支援者、あるいは要介護者となった高齢者の割合は、それぞれ約 15% 近く上ることが知られている。一方で、要支援や要介護となる前に、筋力トレーニングやリハビリテーションなどの適切な支援を受けることで、健康で自立した状態を維持したり低下した身体機能を回復させたりできるとも言われている。すなわち、要支援や要介護となる前の高齢者が、要支援・要介護者向けの既存の介護・福祉装置を使用して不足している力を補うことは、使用者が安全で楽に目的の動作を行える利点があるが、介護・福祉装置に頼ると日常生活での運動機会が減少し、身体機能が低下する心配もある。しかし、従来の介護・福祉装置は主に運動を代替する傾向にある。したがって、高齢者の身体機能を代替するだけでなく、身体機能の低下を予防するアシストシステムの開発が求められている。

2. 研究の目的

身体機能の低下を防ぐ方法は、筋力トレーニングをはじめ多様に存在する。その 1 つの方法として、アシストシステムを使用して目的の動作を支援するだけでなく、支援を受けない場合でも目的の動作を行えるように、目的の動作を正しく習得させることが有効だと考えられる。そこで、目的の動作を支援するアシストシステムを使用して、正しい動作姿勢を経験させ、目的の動作を正確に習得させることを目指す。

本研究課題においては、以下の 4 つの要素について研究を進めることにした。

- ロボットによる動作姿勢の教示訓練において、運動成績と脳活動の関係を調査する
- ロボット訓練により運動成績が向上する可能性を、訓練前の運動成績から推定する
- ロボットを介して運動する際に、運動戦略に影響を与える要因を調査する
- 日常生活で重要な起立動作を教示するためのロボットを開発する

3. 研究の方法

75 歳は健康で自立した状態から要支援・要介護状態への移行が特に現れやすいため、実験の対象者を健常な高齢者 (70~80 歳) とした。目的 ~ では、手先位置を特定の軌道に沿って動かすことができるロボット (図 1) を使用し、実験対象者に対して目的の動作を教示する。目的 では、同じロボットを介して 2 人の実験対象者が 1 つの協働タスクを行う。目的 では、自然な動作よりも身体負荷の低い起立動作姿勢を導出し、得られた起立動作姿勢に沿って身体が動くロボットの設計製作を行う。

4. 研究成果

採択年度から、COVID-19 の影響で高齢者 (65 歳以上) を対象とした実験が行えなくなったので、対象を若年の健常者とした。本研究では、以下の 4 つ成果が得られた。

ロボットによる動作姿勢の教示訓練において、運動成績と脳活動の関係を調査する

Haptic guidance と呼ばれる運動教示方法では、ロボットが学習者の上肢や下肢を物理的にガイドして理想的な動きを示す。この運動訓練手法は長い間研究されているが、その有効性についてはまだ定まった結論が出ておらず、学習効果にばらつきがあることが報告されている (1)。Haptic guidance は、視覚情報や他の感覚フィードバックを組み合わせることで、運動の習得に効果的であるという報告もある。これらの報告から、視覚情報や音を組み合わせるなどして、学習者を積極的に運動課題に取り組みさせることが、Haptic guidance 手法による運動習得に重要と考えられる。

本実験では、右利きの健常若年者に左手で真円を一定の速度で描く運動を学習してもらった。図 1 のロボットで真円描画運動を教示し、非侵襲的に脳波を計測した。運動タスクへの関与レベルと関連する脳波の一種である感覚運動リズム (SMR) 活動が、Haptic guidance を受ける学習者の脳活動に観察されるかどうか実験的に確認した。

その結果、ロボットによる運動教示の後、教示された運動が上達した群では、上達しなかった群に比べて、Haptic guidance 中に SMR が活発に見られた。Haptic guidance 手法による運動習得には、学習者がより積極的に運動課題に取り組む必要があるという仮説を支持する結果が得られた。

(Takai et al., "Neural investigation towards motor skill improvements through brain-computer interface-based training", Brain-Computer Interface Samara 2020 and Samara NeuroWeek にて発表済み)

ロボット訓練により運動成績が向上する可能性を、訓練前の運動成績から推定する

先行研究では、訓練前に課題運動が下手な被験者において、Haptic guidance 訓練後に運動が改善される傾向があることが報告されている (1,2)。これまでの研究では、訓練前

の初期運動成績とその変化との間に線形の相関関係を見つけたが、運動成績に基づいた上手下手のグループ分けを検証したり、訓練前に運動が改善するか判断するための成績の閾値を決定したりするような体系的なアプローチは提供されていない。

そこで、目的 で取得した運動データを用いて、訓練前後の運動成績の変化をモデル化することで、訓練効果が訓練前の運動成績にどれだけ依存しているか評価した。4つの異なる依存性を表したモデルを作成して、ベイズ推定を用いてパラメータ同定を行った。さらに各モデルのデータへの適合度に基づいて、学習者をグループ分け可能か検証した。さらに、データから上手下手のグループを分ける閾値を決定した。この時、一部のデータをモデルの学習用に用いて、残りを検証用に用いた。

モデルの適合度より、訓練前に課題運動が下手な被験者ほど訓練効果が高い傾向が確認された。また、得られた閾値を用いて、検証用データの訓練効果を推定すると、その平均推定精度は8割であった。つまり、訓練前の運動成績に基づいて訓練の適/不適を事前に推定できる可能性が示された。これにより、ロボット訓練の効果が見込めるか訓練開始前に推定し、効果の低い訓練に時間を費やすことを防げる可能性がある。

(Takai et al., "Bayesian Estimation of Potential Performance Improvement Elicited by Robot-Guided Training", *Frontiers in Neuroscience* 2021 に掲載済み)

ロボットを介して運動する際に、運動戦略に影響を与える要因を調査する

従来、指導者が学習者の手を取って運動を教えるとき、すなわち物理的な接触がある協調運動において、接触情報がどのように役立つかは不明であった。

2人の実験参加者が協力して仮想空間で協調タスクを行った。ペアは図1のロボットを使って仮想空間上の物体を操作できる。仮想物体とつながったロボットハンドルからの触覚フィードバックを操作して、ペアの運動戦略がどのように変化するか調査した。

強い触覚フィードバックが導入された場合に限り、ペア参加者間で明確な運動戦略の違いが生じた。一方、触覚フィードバックを欠落させた場合は違いが見られなかった。

(Takai et al., "Learning acquisition of consistent leader-follower relationships depends on implicit haptic interactions", *Scientific Reports* 2023 にて掲載済み)

日常生活で重要な起立動作を教示するためのロボットを開発する

椅子からの起立動作は日常生活のなかで頻繁に行うため、起立困難な人々を支援するための装置が数多く開発されている。しかし、これらの装置を使用すると、不自然な姿勢で起立すると報告されている(3)。そこで本研究課題では、正しくない起立動作を行うことにより起立が困難な人々を対象に、下肢の各関節にかかる余分な負担が小さい起立動作へと使用者を誘導できる起立支援装置を開発する。

先行研究において、負担が最小となる個々の人に最適な起立動作を導出した(4)。本研究課題では、ロボットの座部に腰掛ける人の股関節中心が緩やかなS字カーブ軌道を描くように座部を移動させる移動機構部のモデルを構築することで、S字カーブ軌道の再現度が最も高くなるよう、移動機構部を構成する平歯車の歯数の導出を目指した。起立支援ロボットの座部移動機構をModelicaでモデル化し、座部に腰掛ける人の股関節中心軌道と、最適起立動作時のS字カーブ軌道とのFréchet距離が最小となる汎用平歯車の歯数を探索した。その結果を基に起立支援ロボットを設計・製作した。

(高井飛鳥 他, Modelicaモデルを用いた起立支援装置の移動機構部の設計, 日本機械学会2022年度年次大会にて発表済み)

## 文 献

(1) Sigrist, R., Rauter, G., Riener, R., and Wolf, P. (2013). Augmented visual, auditory, haptic, and multimodal feedback in motor learning: a review. *Psychon. Bull. Rev.* 20, 21-53.

(2) Marchal-Crespo, L., McHughen, S., Cramer, S.C. et al. The effect of haptic guidance, aging, and initial skill level on motor learning of a steering task. *Exp Brain Res* 201, 209-220 (2010).

(3) Lum, Peter S., et al. "Robot-assisted movement training compared with conventional therapy techniques for the rehabilitation of upper-limb motor function after stroke." *Archives of physical medicine and rehabilitation* 83.7 (2002): 952-959.

(4) Takai, A., Nakagawa, C., Shintani, A., and Ito, T., "Estimation and Minimization of Body Load during Sit-to-Stand Movement for Rehabilitation", *Journal of System Design and Dynamics*, Vol. 7, No. 4 (2013), pp. 488-503.

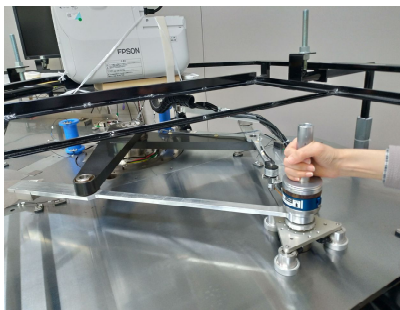


図1 研究目的 ~ において  
用いられたロボット

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Takai Asuka, Lisi Giuseppe, Noda Tomoyuki, Teramae Tatsuya, Imamizu Hiroshi, Morimoto Jun	4. 巻 15
2. 論文標題 Bayesian Estimation of Potential Performance Improvement Elicited by Robot-Guided Training	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Neuroscience	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fnins.2021.704402	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Takai Asuka, Fu Qiushi, Doibata Yuzuru, Lisi Giuseppe, Tsuchiya Toshiki, Mojtahedi Keivan, Yoshioka Toshinori, Kawato Mitsuo, Morimoto Jun, Santello Marco	4. 巻 13
2. 論文標題 Learning acquisition of consistent leader-follower relationships depends on implicit haptic interactions	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-023-29722-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Asuka Takai, Diletta Rivela, Giuseppe Lisi, Tomoyuki Noda, Tatsuya Teramae, Hiroshi Imamizu, Jun Morimoto
2. 発表標題 Neural investigation towards motor skill improvements through brain-computer interface-based training
3. 学会等名 Brain-Computer Interface Samara 2020 and Samara NeuroWeek（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高井 飛鳥
2. 発表標題 身体および感覚運動機能リハビリテーションのためのロボット・システム開発
3. 学会等名 大阪市立大学大学院工学研究科 医工・生命工学教育研究センター 第11回セミナー
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 片岡悠,高井飛鳥
2. 発表標題 力覚提示インターフェースによる運動教示時の脳波と運動学習効果の関係に関する研究
3. 学会等名 第20回日本神経理学療法学会学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高井飛鳥,裴凱強,新谷篤彦,川合忠雄
2. 発表標題 Modelicaモデルを用いた起立支援装置の移動機構部の設計
3. 学会等名 日本機械学会2022年度年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松宮光照,高井飛鳥
2. 発表標題 仮想空間上に存在するアバターが行う動作の観察による運動学習の提案
3. 学会等名 第4回日本再生医療とリハビリテーション学会学術大会(JSRMR2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 阪口都雲,高井飛鳥,野田智之,寺前達也,川合忠雄
2. 発表標題 脊髄損傷者のプッシュアップ動作をアシストする機器の駆動系の検討
3. 学会等名 日本機械学会関西支部 第98期定時総会講演会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
米国	Arizona State University	University of Central Florida	