

令和 4 年 6 月 10 日現在

機関番号：18001
研究種目：基盤研究(C)（一般）
研究期間：2019～2021
課題番号：19K11349
研究課題名（和文）ニューロリハビリテーションを目的とした上肢運動支援システムの開発

研究課題名（英文）An Exercise Rehabilitative System for Upper Extremities Aimed at Neurorehabilitation

研究代表者
比嘉 広樹（HIGA, Hiroki）

琉球大学・工学部・教授

研究者番号：60295300
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：神経筋疾患患者の生活の質の向上を目的に、本研究では生体信号を活用してニューロリハビリテーションを行うための上肢運動支援システムの検討を行った。

具体的には、手指運動のリハビリテーションを想定し、生体信号を活用したコントローラと手指装具の製作および仮想リハビリ環境とネットワーク通信機能を作成し、これらの動作確認を行った。健常被験者による実験結果より、システムが適切に動作することが確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で試作したリハビリ支援システムを用いることにより、健常被験者の生体信号を活用した手指のリハビリの支援を行えることが示された。患者が医師やリハビリ・スタッフらと直接対面できない状況でも、オンライン・マルチプレイが可能なネットワーク通信機能を使用することで遠隔からのリハビリ実施が可能であると考えられる。Withコロナ下での本システムの利用が期待される。

研究成果の概要（英文）：To improve quality of lives of persons with neuromuscular diseases, we developed an exercise rehabilitative system that allows users to assist their hand rehabilitation. The system is composed of biosignal-based controllers, a hand orthosis, a PC, and a virtual rehabilitation environment, which has a network communication function that enables user, doctor and medical care professionals to remotely attend rehabilitative activities. Able-bodied subjects participated in the experiments. We experimentally demonstrated that the proposed system operated appropriately.

研究分野：生体医工学

キーワード：hand rehabilitation assistive technology biosignals SVM LSTM virtual reality

1. 研究開始当初の背景

(1) 神経筋疾患患者は、種々の原因による筋力低下や筋委縮のため、意思はあっても自分の思うままに四肢を動かすことが難しくなり、日常生活動作が制限されてしまう。そのため、生活の基本である、食事や水分摂取を行うことが単独でできなくなる。これらの患者にとって、専門家の指導の下でリハビリ(適切な負荷での運動)を行うことは筋力維持や筋委縮の防止になり、心機能の低下防止にもつながることから重要である。また早い時期から関節の可動域を広げる訓練を行うリハビリは身体の新やかさを保ちつつ、変形や痛みを防ぐことにつながると言われている。したがって、リハビリは体調を良好な状態に保つために必要なことである。現在、ニューロリハビリは脳卒中患者に適用され、患者らの生活の質(Quality of Life, QOL)の向上に寄与していることが報告されている。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、生体信号を活用してニューロリハビリテーションを行うための上肢運動支援システムの検討を行った。神経筋疾患患者のQOLの向上を図ることが研究の目的である。
(2) 具体的には、まず被験者の生体信号を利用して手指のリハビリを支援するための検討を行った。また、拡張現実感AR(Augmented Reality)を併用して、AR麻痺肢の制御フィードバックを取り入れ、リハビリを効果的に実施するための検討も行った。

3. 研究の方法

(1) 製作した筋電インタフェースを用いて、健常被験者の前腕部より筋電信号を導出し、仮想ハンドを用いて仮想空間に設置した大小6種類の物体の把持実験(上肢運動の評価テストの一つであるSHAPを活用)を行った。事前にサポートベクターマシン(SVM)、Label Spreading、長・短期記憶(LSTM)を用いた判別器を作成し、トレーニングデータにより各判別器を学習後、テストデータによる判別結果を比較した。仮想空間の作成にはUnityを使用した。
(2) 仮想空間に、手作業の器用さを評価する指標の一つであるボックス&ブロック・テストを作成し、仮想ハンドを用いて評価実験を行った。
(3) Unityを用いて、食事や水分摂取のためのリハビリテーション用仮想空間を作成した。ヒト上肢の代替として7自由度のロボットアームを設置し、コントローラを用いて健常被験者による操作実験を行った。またロボットアームの各関節角度を決定するため、逆運動学を適用したシミュレータ機能も付加した。
(4) 手指のリハビリを想定して、「手指を開く/閉じる」という健常被験者の運動想起時の脳波を測定し、SVMを用いた脳波コントローラを検討した。また手指のリハビリを支援するための補助具として手指装具を製作し、その挙動を確認した。
(5) With コロナ下でのリハビリを実施するため、仮想空間を利用したリハビリを検討した。まずAR(Augmented Reality)上肢を作成し、健常被験者の上肢に重畳表示させたリハビリの検討を行った。またバーチャルなリハビリ空間に、オンライン・マルチプレイが可能なネットワーク通信機能を追加し、その動作確認を行った。

4. 研究成果

(1) 筋電インタフェースに用いた3つの判別器のうち、LSTM判別器において最も高い判別率(98.9%)が得られた。6種類の物体が適切に把持可能であることも示された(図1参照)。
(2) ボックス&ブロック・テストの実験結果より、複数のブロックを適切に移動できることが明らかになった(図2参照)。
(3) 仮想空間内のロボットアームを操作した結果より、卓上に置かれたコップやスプーンを把持して仮想ユーザの口元まで適切に移動(食事や水分摂取)できることが確かめられた。また逆運動学を用いたシミュレータ機能により、上肢の運動支援の視覚化が行えるようになった(図3参照)。
(4) SVM判別器により運動想起時の判別が行えることが示された(判別率精度73.3%)。脳波コントローラと手指装具を接続し(図4参照)被験者の運動想起による手指装具の挙動が確認できた(図5参照)。
(5) 健常被験者の上肢にAR上肢を重畳表示させた環境にて、脳波コントローラを用いた運動想起によるAR手指のリハビリ操作が確認できた(図6,7参照)。またオンライン・マルチプレイを考慮したネットワーク通信機能により、複数名のユーザがバーチャル・リハビリ・ルームに接続し(図8参照)ネットワーク経由で同ルームに参加できることが確認された。

以上の結果より、本研究で試作したシステムを用いることにより、ユーザの生体信号を活用したリハビリの支援を行えることが示された。オンライン・マルチプレイが可能なネットワーク通信機能を活用することで患者が医師、リハビリ・スタッフらと直接対面できない状況でも、遠隔からのリハビリ実施が可能であると考えられる。With コロナ下での本システムの利活用が期待される。

今後の課題

(1) コロナウイルス感染症の影響により、患者との面会が大きく制限されたため、患者による本システムの評価実験が実施できていない状況である。引き続き、本システムの有用性について検討を行うことが今後の課題として挙げられる。

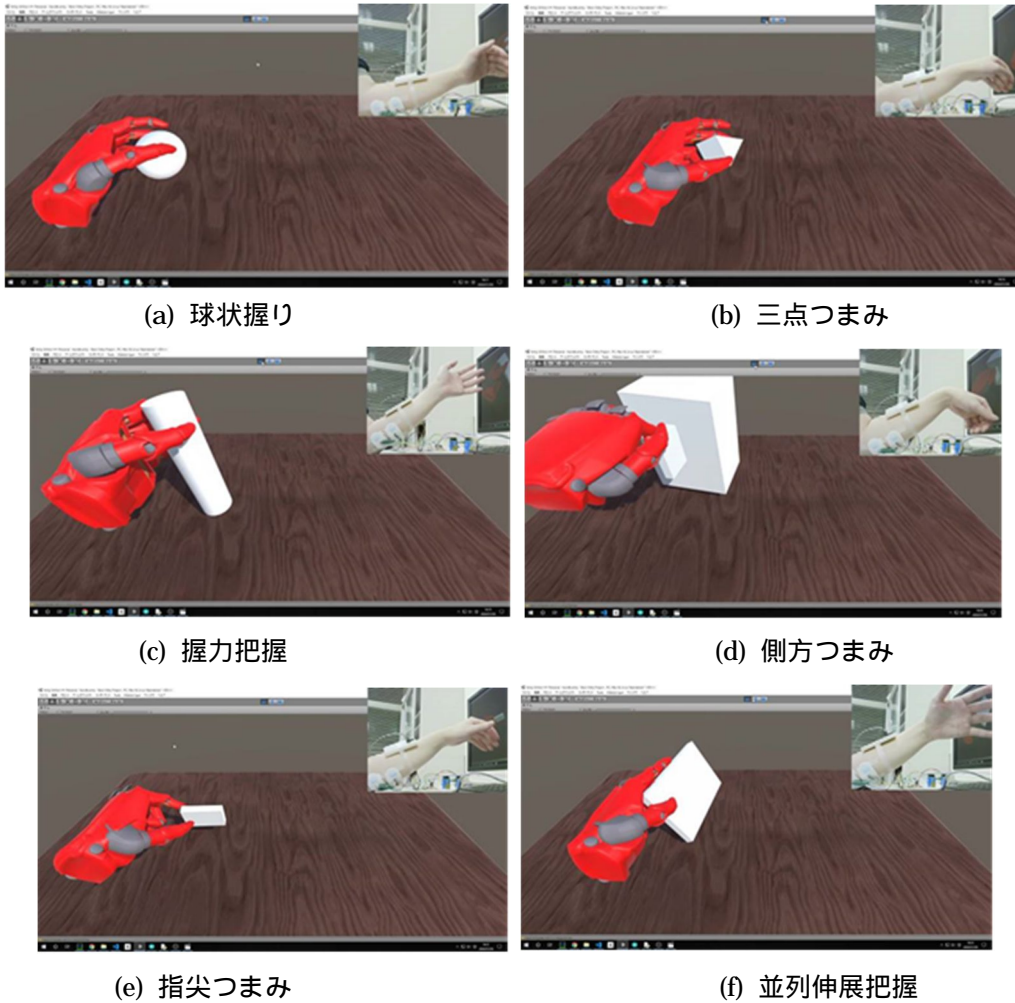


図1 物体把持課題の実験結果の例

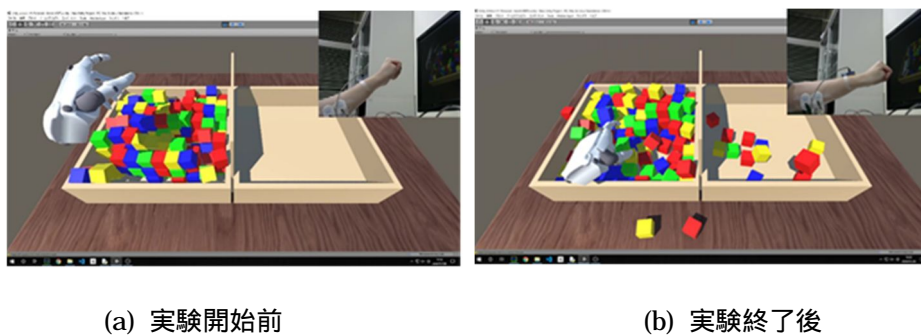
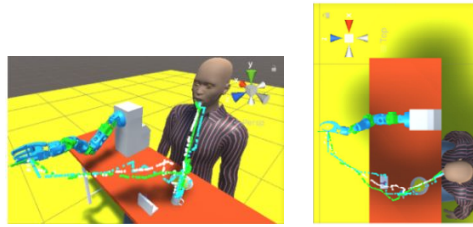
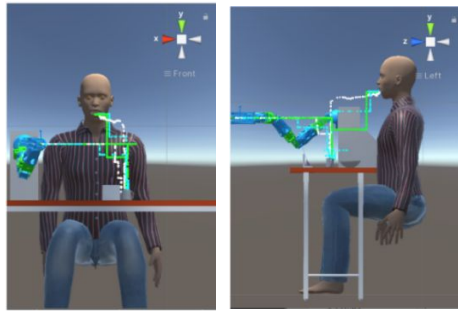


図2 ボックス&ブロック・テスト課題の実験結果の例

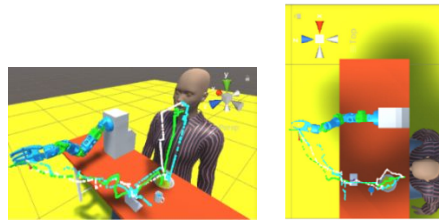


(a) 左上方からの視点 (b) 真上から見た図

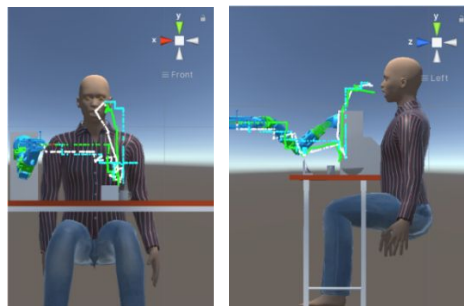


(c) 正面図

(d) 側面図



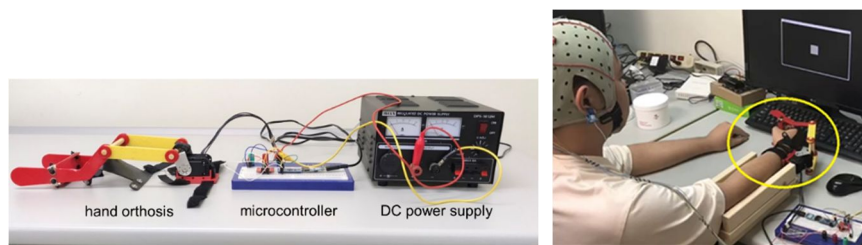
(e) 左上方からの視点 (f) 真上から見た図



(g) 正面図

(h) 側面図

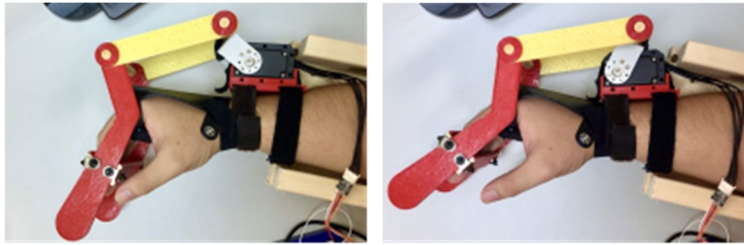
図3 水分摂取時 (a)~(d) と食物摂取時 (e)~(h) のシミュレーション結果の一例



(a) 製作した手指装具

(b) 実験時

図4 脳波コントローラと手指装具接続時の実験



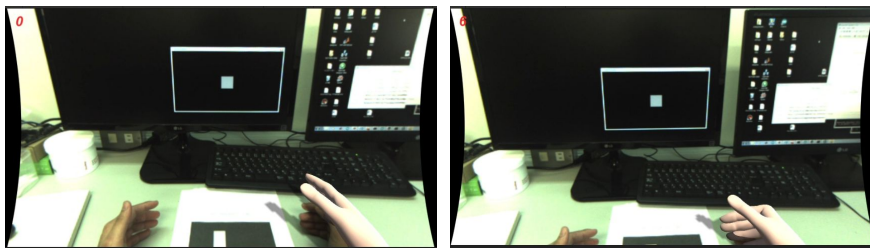
(a) 初期状態 (b) 手指装具により手指を開かされた状態

図 5 運動想起時の手指装具による四指リハビリの実験例



(a) AR 右上肢 (b) AR 左上肢 (c) 実験風景

図 6 麻痺上肢に重畳表示させる AR 上肢モデルと実験時



(a) 初期状態 (b) 右手四指屈曲時

図 7 右上肢に AR 上肢モデルを重畳表示させた場合に実験結果の一例



図 8 バーチャル・リハビリ・ルームの一例。
但し、参加者は頭部（灰色球状）と ID のみを表示。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Shotaro Gushi, Yuichi Shimabukuro, and Hiroki Higa	4. 巻 6
2. 論文標題 A Self-Feeding Assistive Robotic Arm for People with Physical Disabilities of the Extremities: Performance Evaluation of Eating	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Control, Automation and Robotics	6. 最初と最後の頁 166-171
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shinto Takahashi, Hiroki Higa	4. 巻 6
2. 論文標題 EMG-Based Controller Using Machine Learning: Evaluation of Controlling a Virtual Hand	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Control, Automation and Robotics	6. 最初と最後の頁 160-165
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Itto Uehara and Hiroki Higa	4. 巻 6
2. 論文標題 Computer Assisted Surgical Educational System Using Virtual Reality: Bleeding and Anatomical models	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Bioinformatics and Neuroscience	6. 最初と最後の頁 283-288
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 鳥袋 雄一, 具志 翔太郎, 又吉 淳二, 比嘉 広樹	4. 巻 140
2. 論文標題 逆運動学解法を用いた食事支援のための7自由度ロボットアーム・シミュレータ	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C	6. 最初と最後の頁 1040-1049
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Shotaro Gushi, Yuichi Shimabukuro, and Hiroki Higa
2. 発表標題 A Self-Feeding Assistive Robotic Arm for People with Physical Disabilities of the Extremities
3. 学会等名 ICIIBMS2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shinto Takahashi, Hiroki Higa
2. 発表標題 EMG-Based Interface Using Machine Learning
3. 学会等名 ICIIBMS2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Itto Uehara and Hiroki Higa
2. 発表標題 Computer Assisted Surgical Educational System Using Virtual Reality
3. 学会等名 ICIIBMS2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 喜納 政生, 又吉 淳二, 比嘉 広樹
2. 発表標題 事象関連脱同期を用いた運動判別に関する基礎的検討
3. 学会等名 電気学会九州支部沖縄支所講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 又吉 淳二, 具志 翔太郎, 比嘉 広樹
2. 発表標題 事象関連電位を指標とした単一試行脳波のリアルタイム判別に関する検討
3. 学会等名 電気学会九州支部沖縄支所講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 具志翔太郎、比嘉広樹
2. 発表標題 ロボットアームを用いた食事動作の基礎的実験
3. 学会等名 第58回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 島袋雄一、比嘉広樹
2. 発表標題 食事支援シミュレータの検討
3. 学会等名 第58回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 又吉 淳二、比嘉 広樹
2. 発表標題 事象関連電位を指標とした脳波判別
3. 学会等名 第58回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 具志翔太郎、比嘉広樹
2. 発表標題 ロボットアームによる食事支援の検討
3. 学会等名 電気学会 電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 島袋雄一、具志翔太郎、比嘉広樹
2. 発表標題 食事支援ロボットアームのシミュレータに関する検討
3. 学会等名 電気学会 電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋新叶、比嘉広樹
2. 発表標題 機械学習を用いた筋電入力インタフェース
3. 学会等名 電気学会九州支部沖縄支所講演会
4. 発表年 2019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
---------	---------