

令和 6 年 9 月 9 日現在

機関番号：23304

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K11308

研究課題名（和文）ブレイン・マシン・インタフェース型ベットサイド下肢運動訓練システムの臨床応用

研究課題名（英文）Clinical Application of a Brain-Machine Interface Based Bedside System for Lower Limb Training

研究代表者

橋本 泰成（Hashimoto, Yasunari）

公立小松大学・保健医療学部・教授

研究者番号：80610253

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、脳卒中後のリハビリにブレイン・マシン・インタフェース（BMI）技術を用いた下肢運動リハビリシステムの実用化を目指した。左右の足運動脳波識別では、16チャンネルの脳波データを用いて単独運動の識別率が68%であることが判明したが、協調運動では異なる傾向が見られた。また、経頭蓋交流電気刺激前後の比較では顕著な差が見られなかった。訓練効果の定量化では、仮想現実歩行評価システム（GRAIL）で健常者23名の歩行データを収集した。今後のBMIリハビリ実用化に向け、さらなる解析と発表を予定している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、脳卒中後のリハビリテーションに革新をもたらすBMI技術を用いた下肢リハビリシステムの確立を目指した。学術的には、左右の足運動脳波識別の精度向上や、協調運動時の脳波データの解析に新たな知見を提供する点で意義がある。また、訓練効果の定量化において仮想現実技術を活用し、健常者データと臨床データの比較を可能にした点でも重要である。社会的には、この技術が実用化されることで、脳卒中患者のリハビリテーションの効率化と効果向上が期待され、患者の生活の質の向上や医療コストの削減に寄与する可能性が高い。さらに、BMIリハビリ技術の進展は、他の神経疾患リハビリへの応用も期待される。

研究成果の概要（英文）：This study aims to establish a lower limb rehabilitation system using Brain-Machine Interface (BMI) technology for post-stroke rehabilitation. In the classification of EEG (Electroencephalograms) during left and right foot movements, it was found that using 16-channel EEG data, the classification accuracy for individual foot movements was about 68%, but different trends were observed in coordinated movements. Additionally, no significant differences were found in the comparison of EEG data before and after transcranial alternating current stimulation. To quantify training effects, walking data from 23 healthy individuals were collected using the GRAIL virtual reality gait evaluation system. Further analysis and publication are planned to advance the practical application of BMI rehabilitation.

研究分野：リハビリテーション工学

キーワード：脳波 リハビリテーション

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

脳卒中後の運動機能回復におけるリハビリテーションは、従来の方法では時間と労力を要することが多い。特に下肢の運動機能回復においては、運動の意図を正確に反映した訓練が重要であるが、現行のリハビリシステムには精度向上の余地が残されている。そこで本研究では、ブレイン・マシン・インタフェース (BMI: Brain-Machine Interface) 技術を用いて、脳波から下肢の運動意図を高精度に識別し、リハビリに応用することを目指した。この技術は、従来の方法よりも効果的なリハビリ支援を提供し、患者の運動機能回復を促進する可能性を持つ。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、脳卒中後のリハビリにおける BMI 技術の実用化に向け、特に以下の2つの課題を解決することである。

#### (1) 左右の足運動脳波識別の精度向上

左右の足運動の脳波を識別する際の精度を向上させ、より細かい運動の違いを検出する。

#### (2) 訓練効果の定量化

リハビリ訓練の効果を定量的に評価し、効果的なリハビリプログラムの開発に役立てること。これらの課題を解決することで、脳卒中患者のリハビリ効果を最大化し、運動機能の早期回復を目指す。

### 3. 研究の方法

#### ・初年度 (令和3年度)

研究の初年度では、健常者3名を対象に、多種の運動イメージについて検討を行い、運動イメージの脳波識別における最適な条件を明らかにすることを目指した。具体的には、筋収縮の強さや時間、意識する筋群を細かく変化させ、脳波変化の一種であるベータリバウンドや運動関連脳波の変化を測定した。その結果、特に足関節の底屈運動において、ベータリバウンド強度が最も高くなることが確認された。また、バリスティック運動 (0.5秒程度で急激に収縮させる運動) において、ベータリバウンドが強く発生することが示唆された。

加えて、健常者1名に対して経頭蓋交流電気刺激を施した前後でベータリバウンドの変化を測定し、刺激が脳波に与える影響についても調査を行った。

#### ・2年目 (令和4年度)

2年目では、健常者1名を追加し、経頭蓋交流電気刺激前後のベータリバウンドデータをさらなる精度で分析することを目指した。また、研究者の所属変更に伴い、新たな研究倫理申請の手続きを進め、令和4年11月には申請が許可された。さらに、協力機関である国立長寿医療研究センターの歩行用仮想現実システム (GRAIL) の使用状況を確認し、GRAIL を用いたデータ収集を計画した。

#### ・最終年度 (令和5年度)

最終年度には、健常若年者における歩行時の脳波測定を実施し、脳波のベータ帯域 (18 - 30 Hz) の活動が歩行と関連していることが示唆された。また、GRAIL を使用して健常者23名の歩行データを収集し、30~60 サイクル/分の歩行時における歩行速度が  $1.09 \pm 0.24$  m/s であることを確認した。加えて、VRのフィードバックが歩幅の改善に貢献していることがわかり、GRAIL が施設内での歩行評価に優れていることを示した。

### 4. 研究成果

本研究で得られた主な成果は以下の通りである。

#### (1) 左右の足運動脳波識別の精度向上

16チャンネルの脳波データを利用し、右足と左足の単体での運動識別率は68%に達したが、協調的な運動 (立ち上がりや歩行など) では異なる傾向が見られた。また、経頭蓋交流電気刺激を利用した脳波データ比較では、顕著な差異は見られなかったため、現時点では BMI システムに刺激を組み込む優位性は確認されなかった。

#### (2) 訓練効果の定量化

GRAIL を使用して健常者23名の歩行データを収集し、歩行速度や歩幅、重心移動に関するデータを取得した。脳卒中患者を対象とした介入研究は本研究期間内には実施できなかったが、今後の下肢用 BMI システム開発に向けて、臨床データと比較可能な基礎データを得ることができた。

これらの成果は、BMI 技術を応用したリハビリテーションの実用化に向けた重要な一歩であり、今後の研究を通じて脳卒中患者のリハビリ効果を大きく向上させることが期待される。結果についてはさらに解析を進め、学会や論文誌での発表を目指す。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kato Kenji, Yoshimi Tatsuya, Tsuchimoto Shohei, Mizuguchi Nobuaki, Aimoto Keita, Itoh Naoki, Kondo Izumi	4. 巻 21
2. 論文標題 Identification of care tasks for the use of wearable transfer support robots ? an observational study at nursing facilities using robots on a daily basis	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 BMC Health Services Research	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） 10.1186/s12913-021-06639-2	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 Kato Kenji, Yoshimi Tatsuya, Aimoto Keita, Sato Kenji, Itoh Naoki, Kondo Izumi	4. 巻 -
2. 論文標題 Reduction of multiple-caregiver assistance through the long-term use of a transfer support robot in a nursing facility	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Assistive Technology	6. 最初と最後の頁 1~8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/10400435.2022.2039324	査読の有無 無
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8件（うち招待講演 1件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 上見拓也、酒井大輔、橋本泰成
2. 発表標題 注視された空中像を脳波により識別するための基礎的検討
3. 学会等名 第22回 情報フォトニクス研究グループ研究会（秋合宿）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 上見拓也、酒井大輔、橋本泰成
2. 発表標題 注視された空中像を脳波により実時間判別するための基礎的検討
3. 学会等名 第 57 回応用物理学会/第 18 回日本光学会北海道支部合同学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 橋本泰成
2. 発表標題 脳とコンピュータをつなぐ技術とリハビリ機器
3. 学会等名 シーズ・ニーズマッチングシンポジウム2022 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takuya Uemi, Daisuke Sakai, Kenji Harada, Yasunari Hashimoto
2. 発表標題 Real-Time Identification of Gazed Aerial Images Using Steady-State Visual Evoked Potential
3. 学会等名 The 12th Korea-Japan Workshop on Digital Holography and Information Photonics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 上見拓也、福井彩、酒井大輔、橋本泰成
2. 発表標題 注視された空中像の脳波による識別 -光刺激サイズの影響-
3. 学会等名 第58回応用物理学会北海道支部/第19回日本光学会北海道支部合同学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 上見拓也, 合田純平, 福井彩, 酒井大輔, 橋本泰成
2. 発表標題 空中像の形状による定常状態視覚誘発電位の変化に関する基礎的検討
3. 学会等名 第57回応用物理学会北海道支部/第18回日本光学会北海道支部合同学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤井 悠乃介, 谷口 空, 橋本 泰成, 奥村 貴史
2. 発表標題 誰が目を触るのか? 眼鏡による不衛生な接触行動抑制効果の定量評価
3. 学会等名 コンピュータビジョンとイメージメディア研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加藤健治, 相本啓太
2. 発表標題 ロボット技術・AIを活用した介護支援とリハビリテーションへの展開,
3. 学会等名 第5回日本リハビリテーション医学会秋季学術集会
4. 発表年 2021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
研究 分担者	大田 哲生  (Ota Tetsuo)  (20233132)	旭川医科大学・医学部・教授    (10107)	
研究 分担者	加藤 健治  (Kato Kenji)  (30771216)	国立研究開発法人国立長寿医療研究センター・研究所 健康 長寿支援ロボットセンター・室長   (83903)	

#### 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
---------	---------