

入力型BMI 電気刺激を用いた運動と感覚の再生法の研究開発 (121803036)

研究代表者

横井 浩史 国立大学法人電気通信大学大学院情報理工学研究科知能機械工学専攻
Hiroshi Yokoi Department of Mechanical Engineering and Intelligent Systems, Graduate School of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications.

研究分担者

山田 幸生^{††} 狩野 豊^{†††} 岡田 英孝[†] 正本 和人[†] 杉 正夫[†] 姜 銀来^{††} 加藤 龍^{††}
森下 壮一郎^{††} 岸谷 融[†] 久保田 雅史^{††} 五十嵐 千秋^{††} 岡沢 秀彦^{†††} 辻川 哲也^{†††}
Yukio Yamada^{††} Yutaka Kano^{†††} Hidetaka Okada[†] Kazuto Masamoto[†] Masao Sugi[†]
Yinrai Jiang^{††} Ryu Kato^{††} Soichiro Morishita^{††} Yutaka Kishitani[†] Masafumi Kubota^{††}
Chiaki Igarashi^{††} Hidehiko Okazawa^{†††} Tetsuya Tsujikawa^{†††}

[†]国立大学法人 電気通信大学大学院 情報理工学研究科 知能機械工学専攻

^{††}国立大学法人 電気通信大学 脳科学ライフサポート研究センター

^{†††}国立大学法人 電気通信大学大学院 情報理工学研究科 共通教育部 健康・スポーツ科学部

[†]福井大学医学部付属病院 神経内科

^{††}福井大学医学部付属病院 リハビリテーション部

^{†††}福井大学 高エネルギー医学研究センター

[†]Department of Mechanical Engineering and Intelligent Systems, Graduate School of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications.

^{††}Brain Science Inspired Life Support Research Center, The University of Electro-Communications.

^{†††}Division of General Education Graduate School of Informatics and Engineering, Graduate School of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications.

[†]Department of Neurology, University of Fukui Hospital.

^{††}Division of Rehabilitation Medicine, University of Fukui Hospital.

^{†††}Biomedical Imaging Research Center, University of Fukui Hospital.

研究期間 平成 24 年度～平成 26 年度

概要

高齢化の進行による身体障害者の増加に加えて、震災およびその後の劣悪な生活環境に起因する麻痺疾患の課題が顕在化してきている。末梢神経系や筋肉が機能している場合には、脊髄や脳からの指令の代替となる人工的な通信システムにより、運動と感覚を再建可能である。本研究開発では、脳活動と筋活動を連動させることを可能とし、脳が認識しやすい電気刺激パターンで外部から筋収縮を促すことで麻痺肢の機能を回復させる方法を開発することを目的とした。

1. まえがき

高齢化の進行による身体障害者の増加に加えて、震災およびその後の劣悪な生活環境に起因する麻痺疾患の課題が顕在化してきている。末梢神経系や筋肉が機能している場合には、脊髄や脳からの指令の代替となる人工的な通信システムにより、運動と感覚を再建可能である。本研究開発では、脳活動と筋活動を連動させることを可能とし、脳が認識しやすい電気刺激パターンで外部から筋収縮を促すことで麻痺肢の機能を回復させる方法を開発することを目的とした。

2. 研究開発内容及び成果

各年度における研究開発成果の課題を表 1 に示した。本稿では、3 年間の研究の集大成として平成 26 年度に取り組んだ課題 10 から 14 について述べる。

10. 脳-身体運動モデルに基づいた刺激パラメータの決定手法および刺激-筋活動モデルに基づいた筋疲労のリアルタイム推定と抑制手法の確立

脳活動及び運動量と電気刺激パラメータの関係について、高空間分解能脳活動計測により最も脳賦活を高め、運動量を与える刺激パラメータを決定する手法を構築した。さらに超音波診断装置を用いて、電気刺激により誘発される筋活動と関節運動との関係を記述するモデルを構築した。また福井大学における臨床実験のために、種々の刺激パラメータで刺激が可能な新型 FES 装置を新たに作成した。電気刺激による筋疲労をリアルタイムに推定する手法の確立については、平成 25 年度に開発した筋電位からの筋張力推定に基づく筋疲労評価手法、および、筋活動電位信号の刺激ノイズ除去手法を統合して、FES 刺激時の筋疲労評価手法を構築した。さらに歩行などの実際の運動に応用するための、接地や離地などのイベント時刻を検出する手法を考案した。生理学解析については、複数血管の血流速を同時に画像化するための新しい光学計測手法を開

平成24年度	平成25年度	平成26年度
1. 麻痺肢の運動と感覚の誘発を補助する電気刺激装置の開発	8. 麻痺肢の運動と感覚の誘発を補助する電気刺激装置の臨床的優位性の実証と臨床適用の検討	11. クラウドを用いたフィードフォワード型モバイル電気刺激システムの開発
2. 麻痺肢の運動と感覚の誘発を補助する電気刺激装置の安全性に関する基礎的評価	9. 電気刺激に基づくリハビリの臨床的効果とPET計測に基づく脳活動の特定	12. 販売価格の設定と業手法に基づく医療機器登録
3. 脳が認識しやすかつ慣れにくく補助運動量を最大化させる電気刺激の最適パラメータ決定手法の検討	7. リハビリの質の均質化を目標とした刺激支援インターフェースの開発	13. 電気刺激訓練が運動時脳賦活に与える影響の検討
4. 電気刺激によって誘発される筋疲労のリアルタイム推定のための基礎的検討	5. 脳が認識しやすかつ慣れにくい刺激信号の特定	14. 電気刺激の種類と脳機能との関連の検討
	6. 電気刺激によって誘発される筋疲労のリアルタイム推定と予測・抑制モデルの基礎的検討	10. 脳-身体運動モデルに基づいた刺激パラメータの決定手法および刺激-筋活動モデルに基づいた筋疲労のリアルタイム推定と抑制手法の確立

表 1: 各年度における研究開発成果の課題

発し、慢性的な低酸素曝露による大脳皮質血流速度の変化を測定、並びに動脈・静脈・毛細血管毎の違いについて比較検討した。

11. クラウドを用いたフィードフォワード型モバイル電気刺激システムの開発

クラウドを用いたフィードフォワード型モバイル電気刺激システムを実現するための、無線機能を有するモバイル型電気刺激装置については、実験の実施者や被験者および測定データのみならず、実験目的に応じた実験条件や変化させるパラメータについてのメタ情報の管理が可能であるデータベース構造およびフレームワークを考案して実装した。

12. 販売価格の設定と薬事法に基づく医療機器登録

福井大学において試作品の貸し出しによるモニタ試験とアンケート調査を行い、機器導入の可能性と購入希望価格帯の調査を行った。その結果、機器の使用により一定の効果が得られているものの、被験者の希望購入価格が5万円前後であり、それに対し市場価格は10-40万円程度と、乖離があることが明らかになった。

13. 電気刺激訓練が運動時脳賦活に与える影響の検討

発症2年以上経過した慢性期脳梗塞症例での試験を実施し、脳賦活に関するデータの補強を行った。下肢麻痺を有する被験者に新型FES装置を貸与し、単回使用時(自発運動時、電気刺激時、電気刺激下自発運動時および、10分間訓練前後での比較)と、長期訓練使用時(1ヶ月のリハビリ訓練前後)に分けて脳機能変化、身体機能変化を評価検討した。評価項目は前年度と同じく、臨床の評価(筋力や歩行速度、ADLなど)とPETを用いた脳機能検査とし、被験者は5名とした。単回使用での効果検証では、前年度と同様に新型FESによる電気刺激下のリハビリにおいて感覚野への賦活域の拡大を認めた。また10分間の訓練直後には脳賦活が一時的に増大するが、その後10分間休憩を置いて撮像した場合、賦活域は減弱を示した。長期訓練使用では同側に広がっていた賦活域が反対側の運動野に集束する傾向を認めた(図1)。

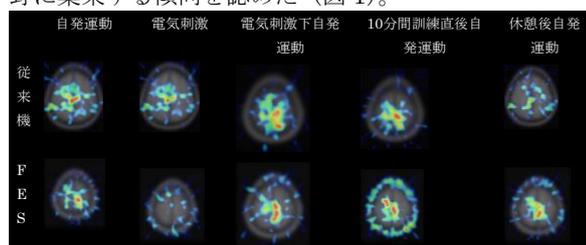


図1: 従来機種と新型FESにおける長期訓練使用時(1か月後)のPET画像

14. 電気刺激の種類と脳機能との関連の検討

平成26年度は新型FES装置のリハビリにおける特性をより明らかとするため、市販のFES装置(従来機)によるリハビリ訓練時の脳機能評価を行い、新型FES装置との差を検討した。従来機による評価は上記と同様に単回使用時と長期訓練使用時について評価した。評価項目は臨床の評価(筋力や歩行速度、ADLなど)とPETを用いた脳機能検査の他、実際にリハビリを行う上での操作性や継続性についても聞き取り調査を行った。

3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

本研究成果により、生体負荷が少なく疲労感の残らない運動機能回復装置を普及させることが可能となり、在宅でも屋外でも長期間持続的に運動機能回復訓練を実施可能となる。これにより、医療・福祉の質の向上や、高齢者・

障害者が自立した生活を過ごすことを可能とするための支援技術の実現を図り、健康で自立して暮らせる社会の実現に寄与する。具体的には、在宅リハビリサービスの展開が挙げられる。特に高齢者が肺炎などの急性の疾病で入院後に低下した体力をリハビリで回復しなければならないケースにおいて、リハビリ施設の定員不足により十分なリハビリが受けられない状況であっても、在宅でのリハビリにより機能回復が図れる。これは介護医療における大きな難点の一つを解消するものである。

4. むすび

本研究開発課題において、装置の開発および脳活動評価に基づくFESの効果の評価については目的を達成した。疲労度評価と電気刺激パラメータの決定については、万人に通用する方法は本研究開発中には見出されなかったものの、それを補うクラウドデータベースの設計を行った。今後の展開として、データベースの拡充や、薬事法に基づく医療機器登録などが挙げられる。

【誌上发表リスト】

- [1] 久保田 他, “急性期脳梗塞患者に対する歩行中の機能的電気刺激治療が歩容及び内側感覚運動皮質へのヘモグロビン濃度へ及ぼす即時的効果”, 理学療法学, Vol.41, No.1, pp. 13-20 (2014年2月20日)
- [2] H. Yokoi, *et al.*, “Engineering Approach for Functional Recovery Based on Body Image Adjustment by Using Biofeedback of Electrical Stimulation,” pp.203-247, Chapter 12, Clinical Systems Neuroscience, Springer Japan 2015.
- [3] Yukio Yamada and Shinpei Okawa, “Diffuse Optical Tomography: Present Status and Its Future,” Optical Review, Vol. 21, No. 3, pp. 185-205 (May, 2014). (Invited Review Paper)

【申請特許リスト】

- [1] 佐藤 佑樹, 森下 壮一郎, 鈴木 美奈子, 横井 浩史, 加藤 龍, 中村 達弘, 電気刺激システム及び計測システム, 日本, 2012年12月14日

【登録特許リスト】

- [1] 横井 浩史, 加藤 龍, 中村 達弘, 森下 壮一郎, 山村 修, 刺激信号生成装置, 日本, 2011/10/14 申請, 登録番号: 特許第5569890号 (2014/07/04)
- [2] 横井 浩史, 加藤 龍, 北 佳保里, 中村 達弘, ロボットハンド及びロボットシステム, 日本, 2010/05/25 申請, 登録番号: 特許第5660364号 (2014/12/12)

【参加国際会議リスト】

- [1] S. Wang, *et al.*, “Influences of Blood Flow Changes in Cerebrospinal Fluid and Skin Layers on Optical Mapping,” The 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (IEEE EMBC2013), Osaka, Japan, pp.2632-2635, July 3-7, 2013,
- [2] M. Kubota, *et al.*, “Immediate Effects of FES on Kinetics and Oxygenation in Cortices during Gait in Stroke Patients,” The 6th AWP&12th ACPT Combined Congress (Taiwan) (2013/9/8)
- [3] O. Yamamura, *et al.*, “Effect of burst stimulation by high frequency biphasic square-wave pulse on cortical perfusion after stroke: A pilot study,” American Society of Neurorehabilitation Annual Meeting (Washington DC) (2014.11.13)

【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://www.hi.mce.uec.ac.jp/yklab/> に掲載