

片麻痺肩・肘関節の各運動自由度選択拘束機構を有する

促通刺激協調リハビリ装置の開発

谷口 康太郎

鹿児島大学大学院理工学研究科技術部

1. はじめに

筆者は平成 25 年度より吉永前総括技術長が関わっていた鹿児島大学霧島リハビリテーションセンターとの医工連携の取り組みを引き継ぎ、脳卒中片麻痺患者のリハビリテーションに関する研究について科研費（奨励研究）の申請を行ってきた。この取り組みの成果として、平成 26 年度に科研費への申請が採択され、本年度も前年度の研究を発展させた研究テーマにて申請したところ採択され、機械工学専攻の余准教授の指導を受けながら本研究を進めてきた。本稿ではその研究内容を紹介する。

2. 研究背景

脳卒中片麻痺患者の上肢機能回復訓練は、特に脳卒中急性期治療を終えた頃の亜急性期リハビリテーションにおいて最重要課題であり、肘と肩関節を使用した上肢の挙上とリーチング能力の向上は洗顔や更衣等の日常生活動作を改善するリハビリとして非常に重要である。片麻痺を改善するためには麻痺肢の訓練量を増やす必要があり、近年リハビリロボットが盛んに研究されているが、モータや人工ゴム筋等のアクチュエータによる他動運動によるものが多く見受けられる。しかし、脳卒中片麻痺患者のリハビリでは患者自らの随意運動を促す訓練が効果的であり、他動運動の訓練ではなく、随意運動を促通刺激によって促す訓練が近年研究されている。片麻痺患者は十分に麻痺肢の筋肉を収縮できないが、NMES（神経筋電気刺激）や、100 [Hz] 程度の振動刺激を目的筋に与えることで筋収縮を促すことができる。また、脳卒中後の片麻痺患者は、関連する関節と一緒に動いてしまう共同運動が出現するが、この共同運動から個々の関節の随意運動に分離することが必要であり、分離運動訓練を行わなければ、脳が誤った学習をしてしまう。

3. 研究目的

筆者の従来の研究では、片麻痺の肩と肘の屈伸運動の共同運動を分離するための上肢各運動自由度選択拘束機構を開発した。この介助装置を用いて手動介入による NMES を併用した肘と肩の屈曲・伸展訓練の臨床試験を鹿児島大学病院の霧島リハビリテーションセンターにおいて 15 人の慢性期脳卒中患者に対して二週間の訓練を行ったところ、UE-FMA サブスコアの肩・肘に関する項目が有意に向上した[1]。これらの研究によって、本装置による NMES を併用した訓練の有用性が示されたが、患者による促通刺激の手動介入では適正なタイミングで NMES を介入することは難しく、NMES の最適な強度もまだ明確になっていない。最適な NMES のタイミングと強度を調べるためには、各関節の動きを測定するシステムを開発する必要がある。そして、FMA や FIM、ARAT 等のリハビリ効果の評価方法は物理的な比例尺度データによる定量的評価ではなく、訓練前後の即時的な僅かな効果の評価は難しい。また、電気や振動等の促通刺激を自動的に介入できれば、セラピストに負荷をかけずに最適な条件で高頻度の反復訓練が可能となり、患者の自主訓練も可能となる。したがって、本研究の目的は訓練関節の角度及び角速度を計測するための肘と肩の屈伸運動の計測機能と電気と振動による促通刺激制御システムを有するリハビリ装置を開発し、その有用性を臨床実験で評価することである。

4. リハビリ装置のシステム構成について

開発したリハビリ装置の構成を図 1 に示し、制御システムの構成については図 2 に示す。制御はノート PC を用いることで可搬性を持たせ、インターフェースは USB 接続とした。各関節の回転軸に設けたロータリエンコーダのカウント値をコンテック製カウンタモジュールで計測し、PC の訓練プログラムによって角度・角速度・角加速度を記録する。サンプリングタイムは 10 [ms] である。そして、リレースイッチの駆動を D/A モ

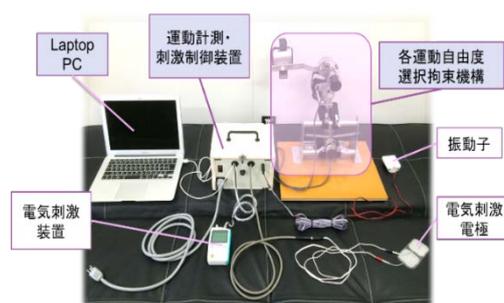


図 1 リハビリ装置の構成

ジュールによって行い、計測した各関節の回転角度によって促通刺激をリレーによって自動的にスイッチングできるようにした。電気刺激装置は比較的安価な伊藤超短波製のTRIO300を用いるが、霧島リハビリテーションセンターで使用されている同社製ハイエンド機種ES-530にも対応させるため、回路の切り替えスイッチを設けた。ES-530はトリガー入力によるスイッチング機能を有するが、TRIO300はその機能がないため、電気刺激出力の下流側回路にリレースイッチが必要である。この場合、回路切断時にTRIO300の安全装置によるシャットダウンを防止するため、人体の電気抵抗と同等の可変抵抗へ刺激電流を流すことで、電気刺激装置のシャットダウンを防ぐよう工夫した。

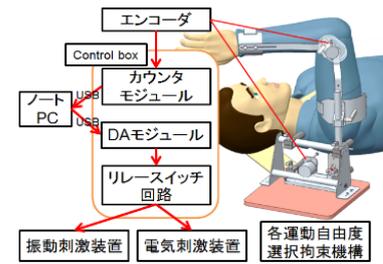


図2 制御システム構成

5. 健常者による実験

健常者 10 人に対して装置の検証実験を行った。訓練の方法は 1 セット 10 回の訓練運動で構成され、これを 5 セット行う。訓練の効果を比較するため、訓練前後で促通刺激を介入せずに、1 セットの訓練を実施した。各訓練セットの最大角速度の測定結果例を図 3、図 4 に示す[2]。NMES の刺激強度（電流値）を上げると、殆どの被験者において NMES を介入しない訓練前後の結果において訓練後に運動速度が向上し、有意差が確認された。ただし、一部の被験者においては電流値を上げて訓練運動速度が遅くなる例もあり、電気刺激強度の設定を対象者毎に適切に合わせる必要があることも分かった。本システムは訓練後に訓練結果が即時に PC 画面上に表示されるため、刺激強度の最適値を調べることも容易である。

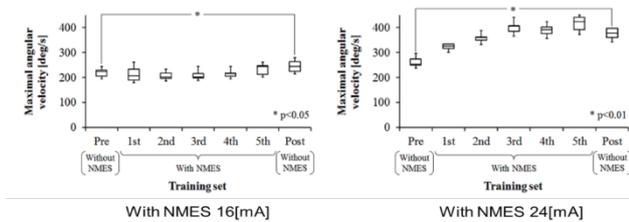


図3 健常者肘関節の電気刺激による実験結果例

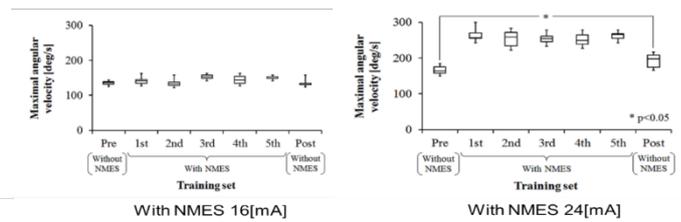


図4 健常者肩関節の電気刺激による実験結果例

6. おわりに

本研究では本装置を使用して訓練前後の訓練関節の最大角速度を比較することにより定量的な評価が即時に可能となった。そして、リアルタイムに計測される関節角度や角速度データに基づいて、振動刺激と NMES による促通刺激を訓練動作に自動的に協調させ、刺激タイミングを制御することができるようになった。本装置は単一の装置で複数の訓練運動を実現でき、アクチュエータも持たないため低コストであり、実現性が高い。現在、片麻痺患者による臨床研究を進めており、企業との共同研究による製品化も視野に入れ研究を継続する。なお、国際会議 2 件[2]と九州地区総合技術研究会において研究成果を発表した。

7. 参考文献

- [1] T. Noma, S. Matsumoto, M. Shimodozono, Y. Iwase, K. Kawahira : "Novel neuromuscular electrical stimulation system for the upper limbs in chronic stroke patients: A feasibility study ", Am.J.Phys.Med.Rehabil, Vol.93, No.3, 2014.
- [2] Koutaro Taniguchi, Yong Yu, Tomokazu Noma, Ryota Hayashi, Shuji Matsumoto, Megumi Shimodozono, Kazumi Kawahira : "Research of Rehabilitation Aid System by DOF Constraintable Mechanism and NMES for Hemiplegic Upper Limbs ", Proceedings of the 2015 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, pp.139-144, 2015.

謝辞

本研究は平成 27 年度 JSPS 科研費（奨励研究：15H00331）の助成を受けたものであり、ご指導頂いた機械工学専攻の余永准教授、林良太准教授、そして、本研究への助言並びに臨床実験のご協力を頂いた霧島リハビリテーションセンターの野間知一作業療法士と厚地リハビリテーション病院の山中弘子医師、福田勇理学療法士、またその他被験者になって頂いた方々へここに感謝申し上げます。