

# 仮想チャネル電気刺激モデルに基づく運動点追従刺激法

亀田 賢<sup>†</sup> 島 圭介<sup>††</sup> 島谷 康司<sup>†††</sup>

† 横浜国立大学大学院工学府物理情報工学専攻    †† 横浜国立大学大学院工学研究院 知的構造の創生部門  
 ††† 県立広島大学保健福祉学部理学療法学科

## 1. はじめに

運動障害などの患者に対しては日常的にリハビリテーションが実施される。効果的な訓練手法として機能的電気刺激 (Functional electrical stimulation : FES) と呼ばれる、電気刺激を用いて筋収縮を誘発し、関節運動を行う方法が考案されている[1]。FES による関節運動の誘発には、一定の刺激量で筋が最も収縮する部位(Motor Point:MP;運動点と呼ぶ)を、解剖学的知見を基に探索する方法が一般的である。しかしながら、大きな筋では関節運動を行う際に筋長が数 cm 変化することが報告されており、MP の位置は動的に変化してしまう。そのような筋に対して電気刺激を行う場合、刺激位置のずれによって目的とは異なる筋、あるいは痛みや不快感を生じる箇所を刺激してしまう可能性がある。MP に対して効率的な電気刺激を行うためには、運動に伴った動的な刺激位置の切り替えが必要である。

本発表では、関節角度に基づいて MP 位置を推定し、仮想電極を用いることで動的かつ連続的に刺激箇所を制御する新しい FES 手法を提案する。

## 2. Motor Point 追従型 FES 法

Fig. 1 に提案法の概要図を示す。提案法では、刺激によって誘発された被験者の関節角度を計測する。得られた関節角度を用いて筋腱骨格モデルより MP 位置を推定し、MP 上に仮想電極を形成することで、刺激箇所を動的かつ連続的に変更する。

筋腱骨格モデルでは、筋腱長  $L$  を、上腕関節-腱骨接合部  $a$ 、腕関節-腱骨接合部  $b$ 、関節角度  $\theta$  を用いて次式のように表す。

$$L = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab\cos\theta}, \Delta l_{mp} = c\Delta L \quad (1)$$

また、MP 移動距離  $\Delta l_{mp}$  は、筋長変化  $\Delta L$  に比例するので、定数  $c$  を用いて次式のように仮定する。

$$\Delta l_{mp} = c\Delta L \quad (2)$$

$\Delta l_{mp}$  から刺激位置を決定し、仮想電極による刺激を行う。提案法では、推定した MP が電極間にある場合の刺激手法として仮想電極を用いる。仮想電極は複数の電極で同時に刺激を行うことで任意の大きさ、任意の位置電極を疑似的に再現する手法である[2]。各電極の電流量は、次式の補完関数によって決定される。

$$w_i(\mathbf{p}, d) = a\|\mathbf{p}_i - \mathbf{p}\| + b, q_i(u, \mathbf{p}, d) = w_i(\mathbf{p}, d)u \quad (3)$$

ここで、 $\mathbf{p}_i$  は仮想電極を形成する実電極の位置、 $\mathbf{p}$  は仮想電極位置を示す。重み  $w_i$  と仮想電極における電流強度  $u$

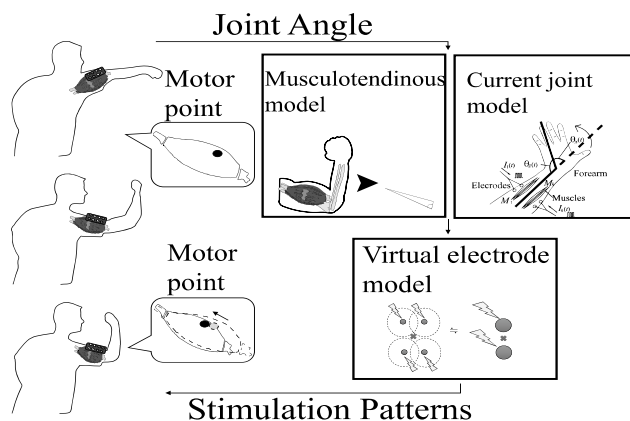


Fig.1 Proposed method

の積によって実電極の電流量が決定される。

## 3. 実験

被験者を健常男性 3 名とし、電流-関節角度特性より上腕二頭筋上の複数の刺激点における電極が MP 上にあるか評価した。筋腱骨格モデルのパラメータを最小二乗法で算出し、提案モデルで MP 位置を推定した結果、肘の屈曲に伴って評価の高い電極が近位方向に移動する様子が確認できた。

2 対の電極による仮想電極の重みについて検討を行った結果では、評価値の高い仮想電極は肘の屈曲に伴って、遠位方向の重みが小さくなり、近位方向の重みが大きくなる傾向が見られた。また、提案法を用いた誘発角度と誘発関節角速度の検証を行った結果、従来手法よりも仮想電極を刺激した場合の誘発関節角度が有意に増加した。また、VAS 値において、全被験者で従来手法よりも不快感を小さく感じる事が示された。

## 4. おわりに

本研究では、リハビリテーションにおける Motor Point 追従型 FES 法を提案した。全ての被験者において従来手法よりも有意に大きな角度を誘発でき、かつ不快感を小さく感じる事が示された。今後は訓練への効果検証などを行う。

参考文献  
 [1] Keisuke Shima, Koji Shimatani, "A new approach to direct rehabilitation based on functional electrical stimulation and EMG classification", *Proceedings of 2016 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science(MHS)*, pp. 237-241, 2016  
 [2] Salchow C. "A New Semi-Automatic Approach to Find Suitable Virtual Electrodes in Arrays Using an Interpolation Strategy", *European Journal of Translational Myology*, 26(2), 2016