



適切な筋電気刺激に必要な空間分解能の調査

Investigation of the spatial resolution of electrodes required for adequate electrical muscle stimulation

石丸 嵩也¹⁾, 嵯峨 智²⁾

Takaya Ishimaru, and Satoshi Saga

1) 熊本大学大学院 (〒 860-8555 熊本市中央区黒髪 2 丁目 39 番 1 号, ishimaru@saga-lab.org)

2) 熊本大学大学院 (〒 860-8555 熊本市中央区黒髪 2 丁目 39 番 1 号, saga@saga-lab.org)

概要: 現在触覚フィードバックにはさまざまな手法が提案されている。その中でも筋電気刺激は姿勢や操作の教示等に用いられているが、わずかな電極位置の変化によって提示力や感覚に違いが生じる。そのため、我々は電極位置を即時変更可能な電極の作成を目指している。しかし、感覚の変化が生じる最小の電極位置の変化は明らかになっていない。そこで本研究では、電極に必要な分解能について調査する。

キーワード: 筋電気刺激, 触覚, 生体用電極

1. はじめに

外部からの電気刺激によって筋収縮を起こす筋電気刺激という技術は、筋肉トレーニングや鎮痛、マッサージなどの医療分野だけでなく、力を提示するという触覚分野でも用いられつつある。例えば音楽等における楽器の演奏の教示に使用するもの [1, 2] や、VR 環境での触覚フィードバックとして用いるもの [3], コミュニケーションの手段として用いるもの [4] 等、様々ある。

このように触覚提示の技術として用いられるようになってきた筋電気刺激だが、触覚提示に適した電極は普及しておらず、刺激する筋肉に応じて電極を加工したり、心電や筋電などの生体電流の測定用電極をそのまま用いることが多い。計測用の電極は生体内の電気信号の読み取りが目的であり、筋電気刺激の生体を電気刺激するという目的とは異なる。しかし、電極の役割としては、生体内と外界の電気インピーダンスをマッチングすることであり、目的は異なるが役割は同じである。そのため測定用の電極を筋電気刺激の用途に使用する研究も多い。

一方で筋電気刺激を触覚提示に用いる際に、問題となる点がある。それは個人ごとに適切な電極位置を設定する必要があることである。人体組成には筋肉量や脂肪量、神経系の分布などに細かな個人差があるため、ある筋肉を刺激するために適切な位置は、個人ごとに異なる。また、少しの電極位置の違いで狙った筋肉の収縮を起こせないことが多い。そのため何度も電極位置を調整する必要があり、多くの時間がかかる。この問題点は測定用の電極をそのまま用いているだけでは解決することは難しい。そこで我々は刺激位置を変更可能な電極が必要であると考えた。刺激位置を変更可能な電極を作成するにあたり、どの程度の細かさで調節する機能が必要なのかという分解能を決定する必要がある。本稿では筋電気刺激に適した電極の空間分解能を調査し、その結果について詳述する。

2. 筋電気刺激用の電極

本節では我々が筋電気刺激用の電極として必要な機能について述べる。前述した通り、個人差に対応するために刺激位置を即時変更可能な機能は必要である。それだけではなく、様々な大きさの筋肉に対応するためには刺激範囲を変更する機能も必要であると考えられる。小さな筋肉を刺激したい場合に、刺激範囲が大きいと他の筋肉まで同時に刺激してしまうため意図しない部位まで動いてしまう可能性が高い。そのため刺激範囲を変更可能な機能も必要である。他には電極位置がずれないように粘着性や曲がり等に対応できる柔軟性も必要である。

これらはハードウェア的な機能だが、これらの機能に加えて、適切な刺激位置や刺激範囲を決定するソフトウェア的な機能も必要である。現在はほとんど場合において、様々な条件を試し、適切な条件を決定する。しかし、この手法では多くの時間がかかってしまう。筋電気刺激を手軽に扱えるようにするには自動で決定する機能が必要である。この機能については電極の機能というよりも、そのための手法を確立することこそが必要である。

このように筋電気刺激用の電極として必要な機能は多くあるが、その内の 1 つである刺激位置を変更可能な機能について、どの程度の距離を変更する必要があるのかという分解能を決定することが本研究の目的である。

3. 解像度測定実験

本節では筋電気刺激に適した電極に必要な分解能を検証するために行った実験について詳述する。必要な分解能を決定するためには、電極を移動した際に、十分な力を提示できなくなる点を調査する必要がある。そのため、今回は示指において 40 N 程度の力を提示し、その電極位置から 5 mm ずつ電極を移動し、力の変化を測定する。筋電気刺激による力は不安定なため、5 ms 間刺激し、その平均値を測定結果とする。力の測定には株式会社イマダの ZTA-50N

を用いた。電極はアズワン株式会社の ECG 電極 Medico MSGLT-04 を用いた。電気刺激の波形としては周波数 50 Hz, パルス幅 0.6 ms, のパルス波を用いた。実験参加者は 6 人 (平均 22.8 歳, 標準偏差 1.3) で, 全員右利きの健康な男性だった。実験の様子を図 1 に示す。

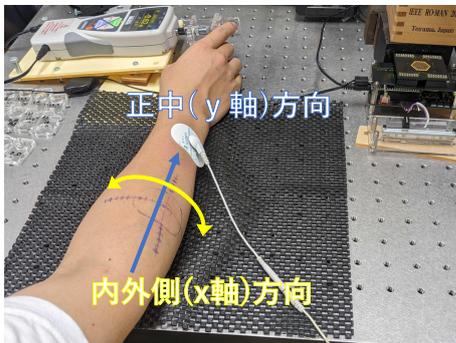


図 1: 実験の様子および電極を移動する方向

具体的な実験手順としては初めに示指の筋肉を効率よく刺激できる電極位置を探索し, 電極を配置する。この時の電極位置を原点とする。電圧は, その電極位置において 40 N の力を提示できる強さで固定し, 同じ実験参加者に対して電圧は変化させない。正中方向を y 軸, 内側および外側方向を x 軸とすると, 原点から ± 5 mm ずつ移動させ, それぞれの点において提示力を測定する。移動距離は最大で ± 25 mm とする。測定は実験参加者 1 人につき各点で合計 3 回測定する。

3.1 実験結果・考察

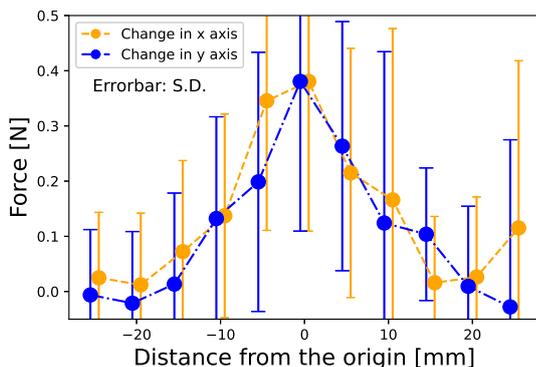


図 2: 各距離における提示力。視認性を良くするため x 軸方向にずらしている

実験結果を図 2 に示す。緑が正中方向 (y 軸) に関する結果で, 黄色が内外側方向 (x 軸) に関する結果である。どちらの結果についても原点から 10 mm 以上離れると提示力が半分以下になっていることがわかる。このことから最低でも必要な 10 mm の分解能が我々が目指す電極には必要であると考えられる。また, x 軸方向に関しては ± 5 mm でも大きく提示力はさがっていない。このことから x 軸方向の方が y 軸方向と比べると必要な分解能は大きくても問題ない可能性がある。一方で y 軸に関しては ± 5 mm で 1 N

程度下がっており, 5 mm の分解能が適切であると考えられる。また, 全体的に標準偏差が大きいこと, 個人差が大きいということがわかる。そのため適切な分解能も個人ごとに異なることに留意する必要がある。

また, 原点からの距離が 25 mm 程度離れると提示力が上がる傾向がみられる。これは他の指の筋肉を刺激してしまい, 筋収縮がおり, その影響で示指も動くため, このような結果になったと考えられる。

実験結果から, 筋電気刺激に適した電極に必要な分解能は x 軸方向に関しては 5 - 10 mm, y 軸方向に関しては 5 mm 程度が適切だと考えられる。また, 今回は示指の筋肉という小さい筋肉に対しての実験だったため, 他の筋肉を対象とする場合は結果が異なる可能性が高い。

4. むすび

本研究では筋電気刺激に適した電極の開発を目指し, その電極に必要な分解能についての調査を行った。結果としては内外側方向 (x 軸方向) は 5 - 10 mm, 正中方向 (y 軸方向) に関しては 5 mm 程度が適切だと考えられる。今回の実験では比較的小さな筋肉である示指の筋肉を対象としていたため, 他のより大きな筋肉や小さな筋肉では適切な分解能は異なる可能性が高い。また, 適切な分解能についても個人差があると考えられるが, 分解能を小さくすることで対応できるだろう。今後は適切な刺激位置を決める手法を確立していくことが必要のため, その手法を検討していく。

参考文献

- [1] Emi Tamaki, Takashi Miyaki, and Jun Rekimoto. Possessedhand: techniques for controlling human hands using electrical muscles stimuli. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 543–552. ACM, 2011.
- [2] Akifumi Takahashi, Jas Brooks, Hiroyuki Kajimoto, and Pedro Lopes. *Increasing Electrical Muscle Stimulation's Dexterity by Means of Back of the Hand Actuation*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2021.
- [3] Pedro Lopes, Sijing You, Lung-Pan Cheng, Sebastian Marwecki, and Patrick Baudisch. Providing haptics to walls & heavy objects in virtual reality by means of electrical muscle stimulation. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1471–1482. ACM, 2017.
- [4] Ashley Colley, Aki Leinonen, Meri-Tuulia Forsman, and Jonna Häkkinen. Ems painter: Co-creating visual art using electrical muscle stimulation. In *Proceedings of the Twelfth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, pp. 266–270, 2018.