

機能的電気刺激を用いたボタンの高速連打

加藤 愛実^{*1} 西村 奈令大^{*1} 蜂須 拓^{*1*2}

佐藤 未知^{*1*2} 福嶋 政期^{*1*2} 梶本 裕之^{*1*3}

High-speed Continuous Clicking Motion using Functional Electrical Stimulation

Manami Katoh^{*1}, Narihiro Nishimura^{*1}, Taku Hachisu^{*1*2},

Michi Sato^{*1*2}, Shogo Fukushima^{*1*2} and Hiroyuki Kajimoto^{*1*3}

Abstract — ゲームや楽器演奏, 調理, スポーツなどにおいて, ユーザが高速かつ周期的な運動を求められる場面がある. こうした運動は動かす身体部位や順序などの戦術に大きく左右され, その習得が難しい. そこで我々は, 機能的電気刺激を用いて高速な周期運動を補助することを試みる. 本稿では特にボタンの連打に着目し, 最適な電極の配置および筋電気刺激のパラメータを検討する.

Keywords: clicking, Functional Electrical Stimulation (FES), high-speed periodic motion, muscle stimulation.

1 はじめに

1.1 高速な周期運動

ゲームや楽器演奏, 調理, スポーツなどにおいて, ユーザが高速かつ周期的な運動を求められる場面がある. こうした運動は動かす身体部位や順番などの戦術に大きく左右され, その習得が難しい. 高速な周期運動を補助するものとしてハンドミキサーやゲーム用連射装置[1]などが存在するが, 共に道具として使用する前提であり, 最終的にユーザが運動能力を獲得することはない. つまり, 高速な周期運動を行うためにはユーザはその道具を使い続ける必要がある.

高速な周期運動を自己の身体運動能力として体得させるにはどのような方法が考えられるだろうか. Van Erp らはボート漕ぎの選手のために, 駆動すべき筋に対して時系列的に触覚提示する手法を提案している[2]. しかし我々は通常, 運動に必要な筋を意識して運動を生起させることではないため, この手法はスポーツ選手の訓練などといった特殊な状況でのみ有効であろうと考えられる.

本研究では, 筋電気刺激を用いて高速な周期運動を補助する手法を提案する. 筋電気刺激も単体では他動的な運動提示にすぎないが, 通常の運動教示にはない次のような利点があると考えられる.

- 小型軽量であり, 手先への装着が必要ないため通常の操作を妨げない. そのため, 自己の運動意図による運動と筋電気刺激による運動を容易に混在させうる.
- 従来の「筋部位への触覚的指令」とは異なり筋への直接的な指令であり, 各筋を駆動させるタイミングをより直接的に把握可能である.

本稿では特にボタンの連打に着目する. 最終的にはユーザの運動意図と筋電気刺激との効率的な相互作用により, ユーザが適切に運動指令を出すための訓練装置を目指す. 本稿は最初の試みとして, 最適な電極の配置および筋電気刺激のパラメータを検討する.

1.2 筋電気刺激に関する先行研究

筋電気刺激は医療や訓練, 情報提示, アートなど様々な場面で応用される[3]. その一例として, 筋電気刺激を用いて生体の失われた機能を再建する機能的電気刺激 (Functional Electrical Stimulation; FES) が挙げられる. これは末梢神経

*1 電気通信大学,
{katoh, n-nishimura, hachisu, michi, shogo, kajimoto}@kaji-lab.jp

*2 日本学術振興会特別研究員

*3 科学技術振興機構さきがけ

*1 The University of Electro-Communications

*2 JSPS Research Fellow

*3 Japan Science and Technology Agency (JST)

を電氣的に興奮させることで筋収縮を起こし、歩行などの運動機能を制御するものである。

渡辺らは前腕部に機能的電気刺激を与えて手関節2自由度運動を制御する手法を提案した[4]。この報告から、筋電気刺激による手関節（手首）の動作制御が可能であることを確認できる。また、Tamakiらや宇戸らは筋電気刺激によって手指関節の動作を制御できることを明らかにした[5][6]。

我々はこれらの知見を用い、機能的電気刺激によって手指関節の周期的動作を制御し、ボタンを高速に連打させることを試みる。

2 最適パラメータ検証実験

2.1 実験環境

2.1.1 高速連打に用いる筋肉

ボタンの高速連打には母指を用いた。母指によるボタンの押し込み動作には短母指外転筋、短母指屈筋、母指対立筋が関与しており、これらは母指球に存在する（図1）[7]。本実験では、これらの筋肉を刺激するために母指球を挟むような形でパッド型の電極を手掌および手背の2箇所に配置した。

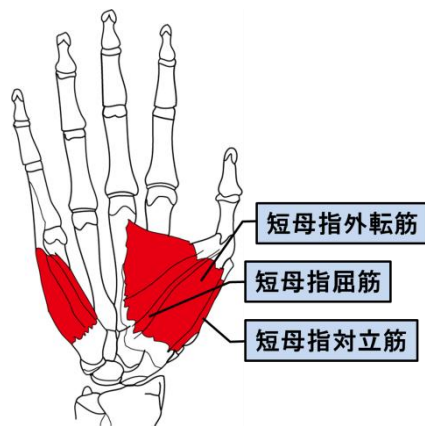


図1 筋電気刺激を与える筋肉（右手掌）

Fig. 1 Muscles used for electrical stimulation (right palm)

2.1.2 筋電気刺激装置

実験を行うにあたり、母指筋肉へ筋電気刺激を提示する筋電気刺激装置を製作した。基本仕様を表1に示す。筋電気刺激には双極性パルス波を基本波形とするバースト波を用いた（図3）。パルス波の極性を一定時間おきに反転させ、筋疲労を低減させた。筋電気刺激の詳細なパラメータに

については第2.2節で述べる。

表1 基本仕様

Table 1 Basic specification

電源電圧	15V
出力電圧値	0-350V
出力電流値	0-20mA

2.1.3 連打測定法

連打回数の測定には、連射測定器付時計「シューティングウォッチ[8]」を用いた（図2）。この測定器では10秒間にボタンを押した回数を測定することができる。ここでは、その値を用いて1秒あたりの連打回数を算出した。



図2 シューティングウォッチ[8]

Fig. 2 Shooting watch

2.2 実験手続き

まず、被験者の右手部に電極を2個貼付し、その後、筋電気刺激を与えた状態で10秒間連打を行った（図4）。この試行を休憩を挟んで3回行い、1秒あたりの平均連打回数を算出した。筋電気刺激はパルス休止時間およびバースト休止時間をパラメータとし、これらの値を変化させて提示した（図3）。なお、パルス幅は0.5ms、パルス高は20mAに固定した。実験中はできるだけ腕の力を抜き、筋電気刺激による受動的な連打を行うようにした。被験者は1名（20代前半、女性）であった。

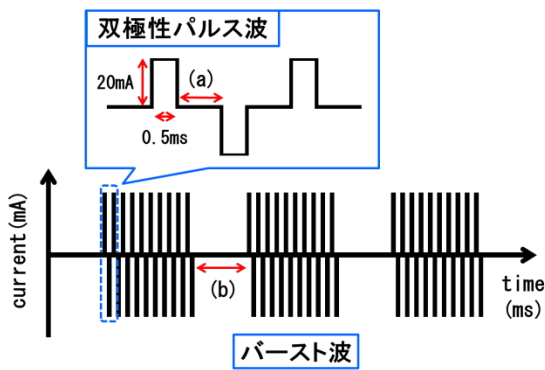


図 3 筋電気刺激パターン

(a) パルス休止時間 (b) バースト休止時間

Fig. 3 Electrical stimulation pattern.

(a) Pulse interval time, (b) Burst interval time.

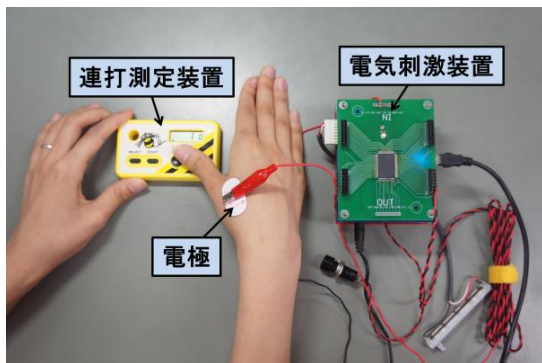


図 4 実験環境

Fig. 4 Experimental environment

2.3 実験結果

筋電気刺激を与えない状態で能動的に連打した際の回数を測定したところ、3 試行の平均連打回数は 7.0 回/s であった。この値を目標にして筋電気刺激を与えた状態での連打測定を行った。

バースト休止時間を 100ms に固定した状態でパルス休止時間を変化させた際の平均連打回数を表 2 に示す。全試行のうち、パルス休止時間が 1.3ms および 1.4ms の際に平均連打回数が 5 回/s を上回った。

この結果を踏まえて 1.3ms および 1.4ms にパルス休止時間を固定し、バースト休止時間を変化させた際の平均連打回数を表 3 および表 4 に示す。バースト休止時間が 60ms の際にどちらの平均連打回数も最高値に達し、パルス休止時間が 1.3ms の際に最高連打回数の 6.5 回/s を記録した。

表 2 パルス休止時間に応じた平均連打回数

Table 2 The number of clicking times corresponding to the pulse interval time.

パルス休止時間 [ms]	バースト幅 [ms]	バースト休止時間 [ms]	平均連打回数 [回/s]
1.5	120	100	4.37
1.4	114	100	5.07
1.3	108	100	5.10
1.2	102	100	4.77
1.1	96	100	4.70

表 3 バースト休止時間に応じた平均連打回数

(パルス休止時間 1.3ms)

Table 3 The number of clicking times corresponding to the burst interval time. Pulse interval time is 1.3ms.

パルス休止時間 [ms]	バースト幅 [ms]	バースト休止時間 [ms]	平均連打回数 [回/s]
1.3	108	90	5.13
1.3	108	80	5.27
1.3	108	70	5.60
1.3	108	60	6.13
1.3	108	50	5.23

表 4 バースト休止時間に応じた平均連打回数

(パルス休止時間 1.4ms)

Table 4 The number of clicking times corresponding to the burst interval time. Pulse interval time is 1.4ms.

パルス休止時間 [ms]	バースト幅 [ms]	バースト休止時間 [ms]	平均連打回数 [回/s]
1.4	114	90	5.10
1.4	114	80	5.33
1.4	114	70	5.47
1.4	114	60	5.57
1.4	114	50	5.10

3 考察

本実験の最高連打回数は 6.5 回/s であり、筋電気刺激を与えない状態での連打回数には及ばなかった。今回は母指の屈曲の際の主動筋のみに筋電気刺激を与えたが、拮抗筋も刺激し、母指の屈曲のみでなく伸展も制御することで連打の高速化を図れると考えられる。

また、算出した平均連打回数がバースト周波数を上回るケースが見られた。これは筋電気刺激の筋肉駆動によって無意識に能動的に連打を行っていたことが原因と考えられ、本実験では意図していなかった「筋電気刺激による運動指令と能動的な運動指令の相互作用」が存在しうることを

示唆していると思われる。

4 おわりに

本稿では,機能的電気刺激を用いてボタンの高速連打を補助する手法を提案し,最適な電極の配置および筋電気刺激のパラメータの検討を行った.その結果,筋電気刺激を与えない状態で能動的に連打を行った際の連打回数を上回ることができなかったが,筋電気刺激による筋肉駆動によって最小限の力で連打を行うことができるという可能性が示唆された.

今後は,筋電気刺激と筋肉駆動の時間関係を解明し,筋電気刺激を与える最適なタイミングを検討する.また,拮抗筋も刺激することによって連打のさらなる高速化を目指す.

参考文献

- [1] オレコマンダー ブラック, 株式会社 HIRO, 入手先
(http://www.horistore.com/products/detail.php?product_id=842) (参照 2012-7-27).
- [2] van Erp, J.B.F., Saturday, I., and Jansen, C.: Application of tactile displays in sports: where to, now and when to move, EuroHaptics2006, pp.105-109, 2006.
- [3] 藤田欣也: 電気刺激を用いた生体インタフェース, ヒューマンインタフェース学会, 6(1), pp.39-42, 2010.
- [4] 渡辺高志, 飯淵寛, 黒沢健至, 星宮望: 機能的電気刺激による手関節 2 自由度運動の多チャンネル PID 制御法, 電子情報通信学会論文誌, J85-D-II(2), pp.319-328, 2002.
- [5] Tamaki, E., Miyaki, T., and Rekimoto, J.: PossessedHand: Techniques for controlling human hands using electrical muscles stimuli, ACM CHI2011, pp.543-552, 2011.
- [6] 宇戸和樹, 岡崎龍太, 佐藤未知, 福嶋政期, 梶本裕之: 手部筋肉への機能的電気刺激による指先に対する触覚提示, 日本バーチャル・リアリティ学会大会論文集, 16(34C-1), 2011.
- [7] Schuenke, M., Schulte, E., Schumacher, U., and Rude, J.: Atlas of Anatomy: General Anatomy and Musculoskeletal System. Thieme Publishing Group, 2006.
- [8] シューティングウォッチ, 株式会社コナミデジタルエンタテインメント, 入手先
(<http://www.hudson.jp/game/view.php?id=10061050>) (参照 2012-07-30).