

電極の電気二重層による充放電を利用した神経刺激回路の動物実験評価

Evaluation of the neurostimulator utilizing charge/discharge in the EDL of electrodes.

茨城高専 ○(B)竹垣遥平, (B)田野口和将, 澤畑博人

KOSEN Ibaraki Col, °Yohei TAKEGAKI, Kazuma TANOGUCHI, Hirohito SAWAHATA

E-mail: ac24104@gm.ibaraki-ct.ac.jp

1. 背景

神経刺激技術は、脳神経を対象とした脳深部刺激療法 (DBS)、筋肉を対象とした機能的電気刺激法 (FES)、網膜を対象とした人工視覚システムへ応用されるなど、脳科学、神経医療、医工学の分野において重要な技術である^[1]。従来法では、バッテリーを生体内に埋め込むことや生体外から髄膜内へ配線を通すことによる危険性が懸念されていた。そこで本研究グループでは、フォトダイオードの光起電力と、生体液中の電極に生じる電気二重層キャパシタンスの充放電を利用し、光入力のみで駆動・制御可能な光起電力チャージショット型刺激回路を提案している。これまで、提案技術によって神経刺激に十分な大きさ ($>100\ \mu\text{A}$)^[2]の電流パルスを発生できることは確認された。本研究では、実際に生体組織への刺激効果が得られるか否か、動物実験で検証することを目的とする。

2. 方法

2.2 提案技術

本研究で提案する回路を Fig. 1 に示す。電気二重層が形成されやすい多孔質カーボン電極として用い、フォトダイオード (PD)、接合形電界効果トランジスタ (JFET)、及び抵抗からなる。光照射時 (Fig. 1A) に JFET は OFF 状態となり、PD からの微弱電流は電極の電気二重層キャパシタンスに充電される。その後、光遮断時 (Fig. 1B) に JFET が ON 状態になり、充電された電荷が急速に放電されることによって生体液中に大きな振幅の電流パルスが発生される仕組みである。

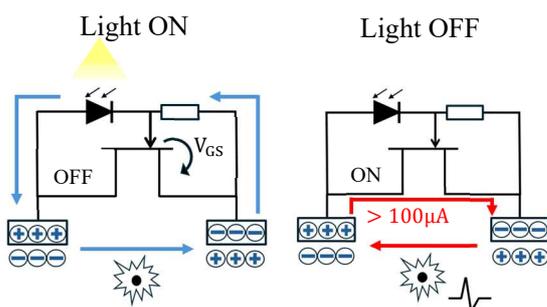


Fig.1 Photovoltaic charge-shot circuit

2.3 動物実験

刺激効果を確かめるために、メダカ (ヒメダカ, *Orizias latipes*) の筋肉を用いた実証実験を行った (Fig. 2)。冷却麻酔を施したメダカの腹部の皮膚を切開して筋肉を露出させ多孔質カーボン電極を接触させた。回路に近赤外光 LED (波長 840nm) を周期的に点滅させ、回路の受光部に照射して駆動させた。その際の筋肉の動きを実体顕微鏡を用いて動画撮影し、動画解析ソフト (Kinovia, kinovea.org.) で筋組織の運動を解析した。

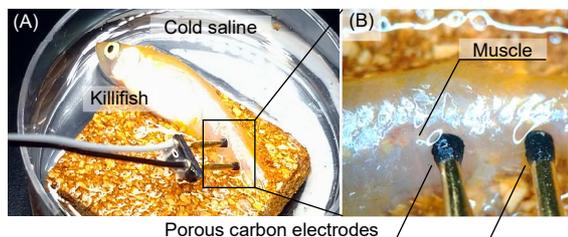


Fig.2 Experiment of stimulation to killifish muscle

3. 結果

2秒周期で点滅させた赤外光を回路に照射して回路を駆動した結果、電極を接触させた箇所の筋肉が周期的に収縮運動をすることが確認された。筋肉の運動速度の波形 (Fig. 3) において、赤外光の点滅と同じ2秒周期で運動速度のピークが見られた。

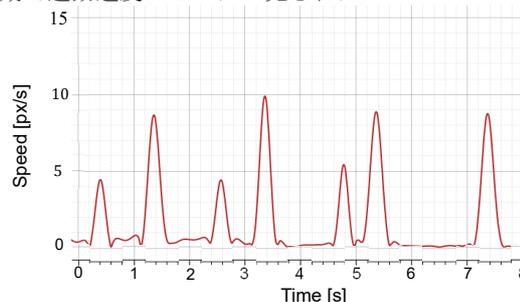


Fig.3 Movement response to stimulation by our circuit

4. 結論

本研究では、多孔質カーボン電極を用いた光起電力チャージショット回路によって筋肉活動を誘発可能であることが初めて確認された。同様にして、神経組織や網膜に対しても刺激効果を得ることが可能であると期待できる。刺激可能な大きさの電流パルスを発生させるための充放電に、コンデンサではなく多孔質カーボン電極の電気二重層キャパシタンスを利用したことで、生体内への埋め込みが可能な小型回路の実装も可能であると考えられる。この技術は、FESなどを始めとした医療・福祉分野へ大きく貢献できる可能性がある。

参考文献

- [1] U. Emily. (2017). Science 358 (6364): 710–710.
- [2] Y. Nakano et al. (2018). Sensors and Materials, Vol. 30, No. 2: 315–326

謝辞

本発表は以下の研究助成を受けて遂行したものであり、ここに謝意を表す。

- ・ JSPS 科研費 (21K12677)
- ・ MILLA 高専連携教育研究プログラム (1402)