

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 4 日現在

機関番号：13802

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25560255

研究課題名(和文)新しい歩行リハビリテーションを可能にするウェアラブル脳刺激法の先駆的開発研究

研究課題名(英文)A wearable brain stimulation device for rehabilitation

## 研究代表者

田中 悟志(TANAKA, SATOSHI)

浜松医科大学・医学部・准教授

研究者番号：10545867

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：脳血管障害を患う患者人口は年々増加しており、それに伴う歩行機能障害は患者の日常生活の質を著しく低下させる。頭蓋の外から電気刺激を与える経頭蓋脳刺激法は、脳活動を安全に促進する手法としてリハビリテーションへの応用に期待が高まっているが、歩行機能障害への応用は萌芽的段階である。本研究では、歩行リハビリテーション中に使用可能な新しいウェアラブル経頭蓋脳刺激装置を開発した。そして、開発したウェアラブル経頭蓋脳刺激装置によってヒト歩行中の運動皮質の興奮性を修飾できる可能性を実験により示した。

研究成果の概要(英文)：Gait rehabilitation consists of the process of re-learning how to walk after an injury or when having a disability. This process can be accelerated by the application of electrical stimulation on specific areas of the brain. Although equipments that can generate the desired levels of voltage and current exist, most are too bulky to be left connected to the subject while at a rehabilitation session. This project's main objective is to develop a wearable device that generates the necessary electrical stimulation during such sessions, being wirelessly controlled by the operator by the means of a smartphone or a tablet computer. The hardware device has to generate a constant DC current through the scalp of the subject, independently of its resistance. It has to be light and small, able to be fixed on the back of the head of the subject.

研究分野：リハビリテーション

キーワード：リハビリテーション 神経科学 脳刺激 大脳皮質 可塑性 歩行

### 1. 研究開始当初の背景

近年、頭蓋の外から 1mA 程度の微弱な直流電流を与える経頭蓋直流電気刺激法 (Transcranial Direct Current Stimulation: tDCS) が、経頭蓋磁気刺激法と同様に外科手術を行わずヒトの脳活動を修飾できる装置としてリハビリテーション分野で脚光を浴びている (図 1)。tDCS は電極直下の細胞外電位を変化させることにより、陽極刺激の場合は脱分極、陰極刺激の場合は過分極の方向に静止膜電位をシフトさせ、また行動学的には運動・感覚機能などに対する促進効果が報告されている。申請者はこれまで、tDCS を脳卒中患者の下肢運動障害に世界にさきがけて応用し、学術誌に成果を掲載した (Tanaka et al., 2011)。しかしながら、該当研究は、患者の低下した下肢筋力を増強させるという報告であり、障害された歩行機能そのものの再建を目指すためには、更なる研究・開発が必要であると感じた。経頭蓋直流電気刺激を歩行リハビリテーションに応用する際、従来の刺激装置では装置の大きさ、電極のずれ等の制約により歩行時の刺激が困難であるという問題点があった。しかしながら、このような技術的問題点を克服できれば、経頭蓋直流電気刺激法が歩行リハビリテーション医療における有力な新戦略となる可能性がある。

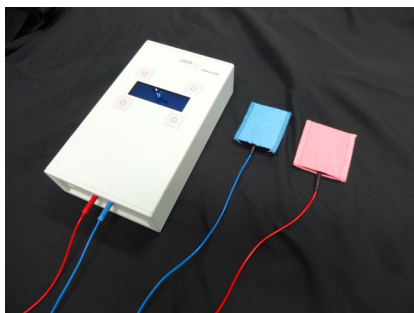


図 1：経頭蓋直流電気刺激装置(DC Stimulator, NeuroConn 社)と使用例

### 2. 研究の目的

上述の背景に基づき、本研究では、(1)歩行リハビリテーション中に使用可能なウェアラブル経頭蓋脳刺激装置の開発にチャレンジし、(2)その有効性についてヒトを対象とした実験的検証を行うことの 2 点を目的とした。

### 3. 研究の方法

ウェアラブル経頭蓋直流刺激装置の開発を行った。刺激装置本体は運動中にも身に付けていられることを目標とし、バッテリー部分を含めても 100g 以下になるように小型化・軽量化を重要視して設計をした (図 2)。

電流強度等の刺激パラメータを使用者が簡単に設定できるように、携帯情報端末のアプリケーションソフトを開発し、設定した刺激パラメータを無線により本体に伝え、制御できる仕様を目指した。

開発したウェアラブル経頭蓋直流刺激装置の歩行時の脳活動への効果について検討を行った。成人健常者を対象とした予備的な実験を行った。本研究は、河村病院 (岐阜県) の倫理委員会の承認を得た。トレッドミル上での歩行中に下肢運動皮質に対し 2mA で 10 分間の刺激を行った。この刺激パラメータは過去の下肢運動皮質刺激において安全性が確認されているものである (Tanaka et al., 2009, 2011)。運動皮質の興奮性は単発の経頭蓋磁気刺激を下肢運動皮質に与えた際の運動誘発電位の振幅により評価した。直流刺激前後の運動皮質興奮性の変化を比較し、開発したウェアラブル経頭蓋直流刺激装置の有効性を検討した。

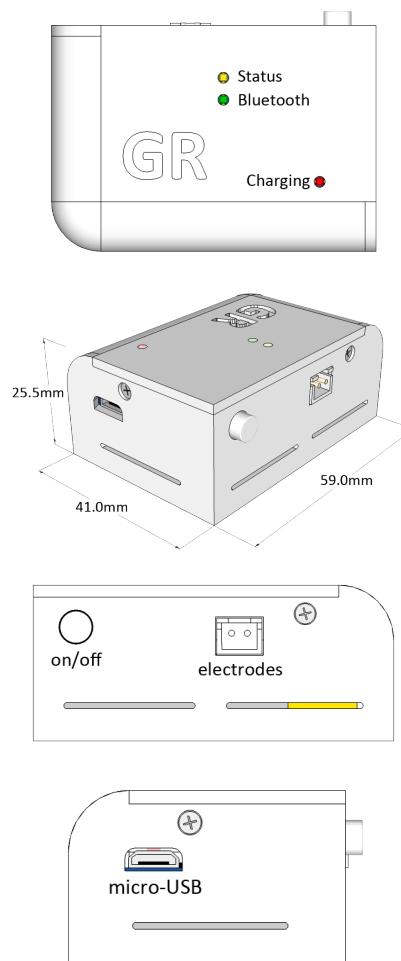


図 2：ウェアラブル脳刺激デバイス

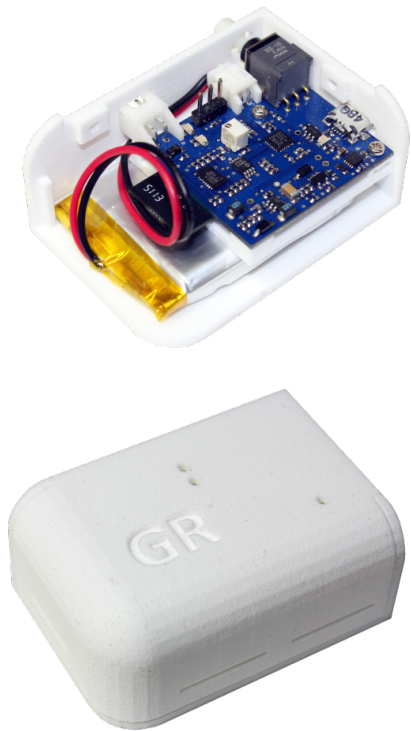


図 3 : 作成したプロトタイプ

Part	Weight (g)
Electronics (PCB & components)	7
Case (top & bottom)	20
Battery	21
Assembly (screws & nuts)	1
<b>Total</b>	<b>49</b>

表 1 : 部品ごとの重量

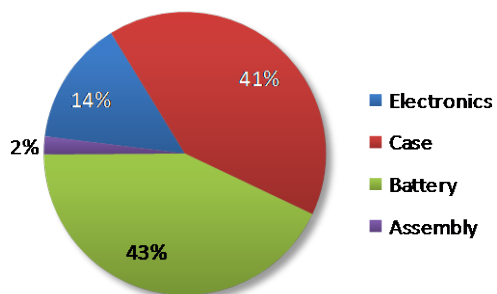


図 4 : 部品重量の割合

#### 4. 研究成果

ウェアラブル経頭蓋直流電気刺激装置を開発した(図3から5)。刺激発生装置(図3)は、帯情報端末上のアプリケーションから、無線信号により電気刺激パラメータを受信する回路を実装した。安全性の面から(1)突入電流の発生を防ぐ回路、(2)刺激中の電圧値を常時モニターし、任意の電圧値(例えば26V)を超えると自動的に刺激が停止する回路、(3)刺激開始時及び停止時に任意の時間をかけて(例えば10秒間かけて)徐々に電流値が下がっていく回路を実装した。重量は約50グラム、大きさは59.0x41.0x25.5mmであり小型化に成功した(表1および図4)。現在、広く研究で使用されているDC Stimulator(NeuroConn社:図1)に比べて、重量で約16分の1、大きさを約27分の1である。

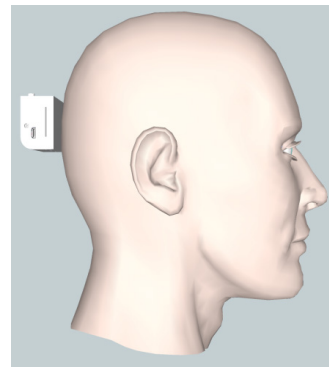


図 5 : ウェアラブル脳刺激デバイスの設置例

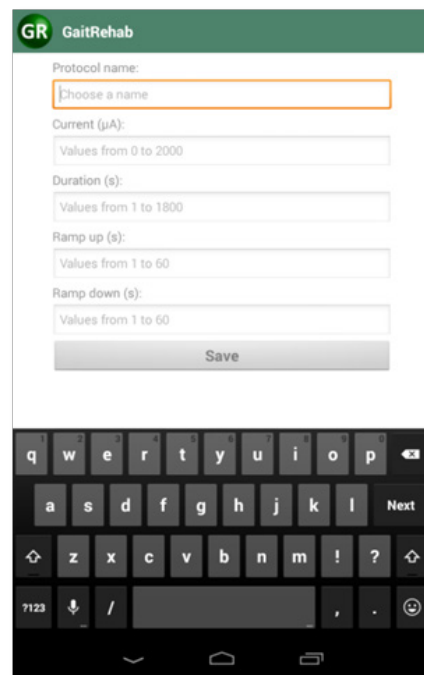


図 6 : 刺激制御用アプリの画面

これは身につけて何不自由なく歩行が可能なサイズである。

刺激パラメータの設定に関しては、携帯情報端末のプラットフォームである Android (Google)上で作動するアプリケーションを開発した (図 6)。直流電流の強度(1~2000 $\mu$ A)、刺激時間(1~1800sec)、電流が定常になるための立ち上がり時間および立下り時間が任意に入力できる仕様になっている。

トレッドミル上で 10 分間の歩行を行っている最中に、開発したウェアラブル経頭蓋直流電気刺激装置を用いて、下肢運動皮質に対し 2mA で 10 分間の陽極直流刺激を行った。下肢運動皮質への磁気刺激によって誘発される運動誘発電位の振幅を、陽極直流刺激の前後で比較した。

その結果、3 名中 2 名の被験者で陽極直流刺激の直後に、運動誘発電位の振幅の上昇を認めた。1 名に関しては運動誘発電位の振幅はむしろ抑制されていた。近年、経頭蓋直流電気刺激法の運動誘発電位への効果は従来考えられていたよりも個人差が大きいことが報告されている(Wiethoff et al., 2014)。今後、被験者数を増やして今回開発したウェアラブル経頭蓋直流電気刺激装置の有効性を検討していく必要がある。

また、歩行時の脳活動のみではなく、下肢運動機能への効果に関して、健常者および下肢運動障害をもつ患者を対象にして検討していく必要がある。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 0 件)

[その他]

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

田中 悟志 (TANAKA, Satoshi)

浜松医科大学・医学部・准教授

研究者番号：10545867

### (2) 研究分担者

クグレ マウリシオ (Kugler, Mauricio)

名古屋工業大学・工学研究科・助教

研究者番号：70456713