

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：32527

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K12652

研究課題名(和文)ニューロモデュレーションを用いた新たなスポーツ練習法の開発

研究課題名(英文)The use of neuromodulation to develop new training methods for sporting skills

研究代表者

遠藤 隆志 (ENDO, Takashi)

植草学園大学・発達教育学部・准教授

研究者番号：80510594

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、運動機能低下に対するリハビリテーションにおいて効果の認められているニューロモデュレーションをスポーツの練習に用い、その効果について検討をした。卓球初心者の上肢筋を制御する脳領域の興奮性を経頭蓋直流電流刺激を用いて修飾した後に、卓球台上の目標に向かってフォアハンドストロークで打つ練習を行った。その結果、経頭蓋直流電流刺激後で目標への的中率が有意に増大し、運動の正確性の向上が認められた。ゆえにニューロモデュレーションをスポーツの練習に用いることで、スポーツのパフォーマンスが効率的に向上する可能性を示唆した。

研究成果の概要(英文)：Neuromodulation has been applied as the effective rehabilitation of motor deficits. Here, we investigate the effect of neuromodulation upon development of sporting-skills training. Novice table-tennis players repeatedly practiced their forehand, aiming at a target on the table, after stimulation of the hand-and-arm motor area of the cortex via transcranial direct current stimulation (tDCS). Accuracy improved significantly after tDCS. Therefore, we suggest that neuromodulation facilitates sporting-skills training.

研究分野：運動生理学

キーワード：運動学習 経頭蓋直流電流刺激 皮質運動野 運動制御 スポーツパフォーマンス トレーニング ニューロモデュレーション

### 1. 研究開始当初の背景

近年、非侵襲的である反復経頭蓋磁気刺激や経頭蓋直流電流刺激 (tDCS) を脳に与えて、刺激した脳部位の興奮性を変化させるニューロモデュレーションの技法が、様々な神経科学の研究で用いられ、数多くの成果をあげている。スポーツや楽器演奏における身体運動から日常生活動作まで、様々な運動を学習および洗練化する際には皮質運動野の可塑的变化が重要な役割を果たすことが多くの研究で明らかにされており、このことを応用して、ニューロモデュレーションを用いてその興奮性の修飾し、その結果として運動機能も変化することが多数報告されている。身体に対する刺激の負担が少なく、刺激電流の方向によって刺激部位の興奮性を増大もしくは抑制させることが可能である tDCS を用いて、脳血管障害の患者の皮質運動野の興奮性を修飾し、カードめくりやペグの移動などの簡単な生活動作の運動機能が回復したこと (Hummel et al. 2005)、また、健常者に対して興奮性を増大する tDCS を与えた後に最大筋力や非利き手の巧緻性が向上したことが明らかになっている (Boggio et al. 2006)。最近、我々も、tDCS による興奮性の修飾に伴って半球間抑制および両手の発揮筋力が変化することを報告した (Tazoe, Endoh et al. 2014)。しかし、一方で、tDCS の効果には天井効果があるために、最大筋力を発揮するような課題やすでに高度な運動技能を持った者にはその効果が得られないことも報告されており、運動機能向上を目的としたニューロモデュレーションの効果的な使用については刺激方法や期間、タイミングなども含めて多くの検討が必要な状況にある。また、走る、跳ぶ、投げる、打つなどのスポーツ動作のほとんどは、動的な多関節運動であり、またその出力および巧緻性が高い運動であるが、これらはニューロモデュレーションによって変化するかどうかは明らかにされていない。

### 2. 研究の目的

本研究のゴールは、非侵襲的な皮質運動野への刺激によりその興奮性を修飾するニューロモデュレーションをスポーツの練習に適用し、より効率的なスポーツの練習法を開発および提案することである。そのため、本研究課題では、経頭蓋直流電流刺激によるニューロモデュレーションを用いた練習が、運動パフォーマンスおよび運動学的側面に与える影響を詳細に検討することを目的とした。

### 3. 研究の方法

#### (1) 実験 ; tDCS が上肢領域の皮質運動野の興奮性に与える影響

健常成人被験者 10 名の頭頂部から 5cm 左側頭部および右前頭眼窩上部にそれぞれ電極 (5×7cm) を貼付し、経頭蓋直流電流刺激

装置 (neuroConn, DC-STIMULATOR) を用いて、1.5mA の強度で 15 分間刺激をした。刺激は、左頭部を陽極とする陽極刺激、または陰極とする陰極刺激、もしくは電極は貼付するが実際には最初の 30 秒間しか刺激を行わない疑似刺激の 3 種類をランダムで行った。この刺激の前および終了 5 分後および 30 分後に、経頭蓋磁気刺激 (magstim, Magstim 200) を用いて座位安静にある被験者の皮質運動野を刺激し (円形コイル、安静時閾値の 110% 強度)、被験者の右手の第一背側骨間筋、腕橈骨筋、上腕二頭筋に貼付した表面電極より運動誘発電位を記録し、その振幅値を解析した。

#### (2) 実験 ; tDCS が卓球のフォアハンドストロークのパフォーマンスに与える影響

卓球の初心者である健常成人被験者 12 名 (男性 7 名、女性 5 名、21-22 歳) の頭頂部 (Cz) から 5cm 左側頭部および右前頭眼窩上部にそれぞれ電極 (5×7cm) を貼付し、経頭蓋直流電流刺激装置 (neuroConn, DC-STIMULATOR) を用いて、1.5mA の強度で 15 分間刺激をした。刺激は、左頭部を陽極、または陰極とするか、もしくは電極は貼付するが実際には 30 秒間しか刺激を行わない疑似刺激の 3 種類を行った (実験と同様)。この 3 種類の刺激は二重盲検法でランダムに与えられた。このいずれかの刺激後に卓球台上のオートフィードマシンから放出されるボールを右手のフォアハンドストロークで出来るだけ正確かつ早く、卓球台上的 (30×30cm および 50×50cm) を狙って打つ練習 (30 球×3 セット) を行った (図 1 参照)。

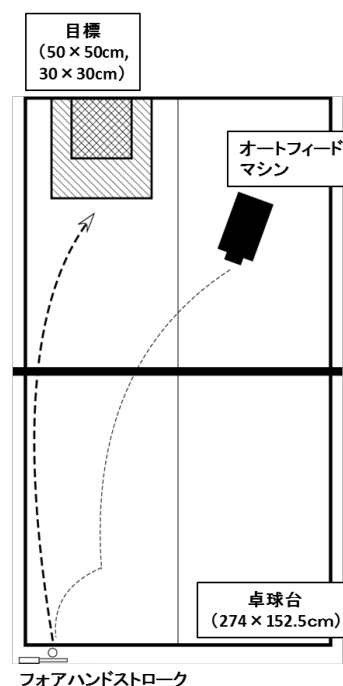


図1. 実験設定

この刺激および練習の前後に練習と同様の運動課題(30球)を行い、運動パフォーマンスの変化を計測した。運動パフォーマンスとして、目標への的中率、打球速度、ワイヤレス筋電センサ(追坂電子機器)を用いた筋活動(三角筋、上腕二頭筋、橈側手根伸筋)を計測および解析した。また、ラケットの裏面に貼付した小型9軸ワイヤレスモーションセンサ(追坂電子機器)よりラケットの加速度および位置座標を計測および解析した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 実験

第一背側骨間筋の運動誘発電位は陽極刺激後に約200%増大し( $p < 0.01$ )、陰極刺激後には約75%に減少した( $p < 0.05$ )。また、上腕二頭筋および腕橈骨筋の運動誘発電位は、第一背側骨間筋と同様に、陽極刺激後で増大、陰極刺激後で減少が認められた( $p < 0.05$ )。刺激30分後においても、刺激5分後と同程度の運動誘発電位の変化が維持されていた。しかしながら、第一背側骨間筋よりも近位の筋では、運動誘発電位の変化率は低く、またその変化傾向についても個人差が多く認められた。疑似刺激後では、いずれの筋における運動誘発電位に変化は認められなかった。このため、本実験で用いた刺激方法および条件では、上肢の広い範囲において約30分間の刺激効果が認められたため、本研究におけるスポーツの練習に使用する刺激として適切であることが考えられた。

##### (2) 実験

陽極および陰極刺激後で運動の正確性(目標への命中率)は運動前に比して有意に増大した( $p < 0.05$ 、図2)。一方で、打球速度は、刺激の前後で変化は認められなかった。疑似刺激前後においては、このいずれにおいても有意な変化は認められなかった。運動の正確性が向上すると運動のスピードが低下することを考慮すると、tDCS後に練習することによって運動の正確性が有意に向上したことが考えられた。

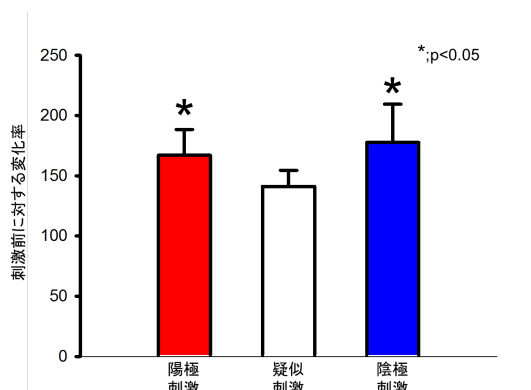


図2. tDCS後の運動の正確性の変化

運動中に記録した三角筋、上腕二頭筋、橈

側手根伸筋の筋活動量については、刺激の前後で大きな変化は認められなかったが、練習をすることでボールを打つインパクト付近で計測した3つの筋が同期して活動する傾向が見られた。このような筋活動パターンは運動の熟練期に認められるため、本研究でも運動技能の向上に伴って、筋活動の変化する傾向も認められた。しかしながら、この筋活動のパターンなどについては個人差が大きいことも関係して、各刺激間で有意な差は認められなかった。筋活動を含め運動学的解析については更なる検討が必要であると考えられた。

(3)本研究では、tDCSによって上肢の広い脳領域の興奮性を持続的に修飾可能であること、またtDCSを一般的に行われている運動技能の練習と組み合わせることによって、さらに運動パフォーマンスを向上させることができることを明らかにした。tDCSが運動に与える影響を検討した先行研究では、皮質運動野の興奮性を増大させる陽極刺激後のみで運動機能が回復もしくは向上することを報告したものがほとんどである(Hummel et al. 2005; Boggio et al. 2006)。しかしながら、本研究結果では、陽極および陰極刺激後の両方で、運動技能の向上が認められた。このような刺激の種類に加えて、刺激効果の個人差、刺激効果の表れるタイミングの差、脳部位への効果、刺激強度および時間などに関してはさらに多くの検討が必要ではあるが、tDCSによるニューロモデュレーションをスポーツの技能の練習に用いることで、スポーツのパフォーマンスが効率的に向上する可能性を示唆した。

#### <引用文献>

- Hummel F et al. Effects of non-invasive cortical stimulation on skilled motor function in chronic stroke. *Brain*, 128, 2005, 490-499
- Boggio PS et al. Enhancement of non-dominant hand motor function by anodal transcranial direct stimulation. *Neurosci Lett*, 404, 2006, 232-236
- Tazoe T, Endoh T et al. Polarity specific effects of transcranial direct current stimulation on interhemispheric inhibition. *PLOS One*, 9, 2014, e114244

#### 5. 主な発表論文等

##### 〔雑誌論文〕(計1件)

- Tsuyoshi Nakajima, Toshiki Tazoe, Masanori Sakamoto, Takashi Endoh, Satoshi Shibuya, Leonardo Abdala Elias, Rinaldo André Mezzarane, Tomoyoshi Komiyama, Yukari Ohki. Reassessment of non-monosynaptic excitation from the motor cortex to

motoneurons in single motor units of the human biceps brachii. *Frontiers in Human Neuroscience*, 査読有, 2017, 11:19  
DOI: 10.3389/fnhum.2017.00019

〔学会発表〕(計4件)

Syusaku Sasada, Takashi Endoh, Tomoya Ishii, Tomoyoshi Komiyama. Improvement of sprint cycling performance by trans-spinal direct current stimulation. *Neuroscience 2016*, 2016. 11, San Diego Convention Center (CA・USA)

笹田周作、遠藤隆志、石井智也、小宮山伴与志、中枢神経系への直流電気刺激によるスプリントパフォーマンスの向上、第71回日本体力医学会大会、2016年9月、いわて県民情報交流センター(岩手県・盛岡市)

笹田周作、遠藤隆志、石井智也、小宮山伴与志、脊髄直流電流刺激によるスプリントパフォーマンス向上の試み、第24回日本運動生理学会大会、2016年7月、熊本大学(熊本県・熊本市)

Takashi Endoh, Toshiki Tazoe, Kiichiro Saito, Toru Ogata. Bilateral Transcranial Direct Current Stimulation Modulates the Left-Right Contribution to Bimanual Cooperative Force Production. *The 12th International Congress of Physiological Anthropology*, 2015. 10, Tokyo Bay Makuhari Hall (Chiba・Japan)

〔図書〕(計1件)

高野良子、武内清編著、遠藤隆志他、学文社、教育の基礎と展開・豊かな保育・教育のつながりをめざして、2016、107-119

6. 研究組織

(1)研究代表者

遠藤 隆志 (ENDO, Takashi)

植草学園大学・発達教育学部・准教授

研究者番号：80510594