

令和 5 年 10 月 27 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K11593

研究課題名(和文) 持続時間の異なる激運動とそのトレーニングに対する中枢直流電気刺激の効果

研究課題名(英文) Effect of tDCS on intensive exercise performance with different duration and its training.

研究代表者

小宮山 伴与志 (Komiyama, Tomoyoshi)

千葉大学・教育学部・教授

研究者番号：70215408

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、運動時間と強度が異なる自転車ペダリング運動に対するトレーニングと経頭蓋的直流電気(tDCS)の組み合わせ効果を検討した。約60秒間の全力ペダリング運動モデルでは、5分間の比較的高強度の有酸素的トレーニングとtDCSの組み合わせは、後半相のパワーを有意に高めた。10分程度の有酸素的なペダリング運動モデルでは、2週間のトレーニングと陽極tDCSの組み合わせは、ペダリング持続時間を有意に延長させたが、陽極tDCSとSham刺激間に有意な差は認められなかった。本研究は、ペダリング運動に対する持続的なトレーニングとtDCSの組み合わせ効果は、運動時間と強度によって修飾されることを示唆する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

身体運動のパフォーマンスは、神経、筋、呼吸循環器系機能、トレーニング度等の複雑な組み合わせによって決定される。しかし、神経系機能の中で、運動出力を担う皮質運動野の興奮性がトレーニング効果にどのような影響を与えるかについては不明な点が多い。本研究では、60秒と約10分のペダリング運動をモデルとしてトレーニングとtDCSの組み合わせ効果を観察した。その結果、400m走を想定した60秒ペダリング運動では、tDCSの効果が見られたが、持続的な10分間のペダリングではその効果は見られなかった。本研究成果は、短時間の激運動時にはトレーニング時の皮質運動野興奮性を高めることが有効であることを示唆する。

研究成果の概要(英文)：The present study examined the combined effects of training and transcranial direct current electricity (tDCS) on bicycle pedaling exercises of varying duration and intensity. In a full-strength pedaling exercise model of approximately 60 seconds, the combination of 5 minutes of relatively high-intensity aerobic training and tDCS significantly increased power in the late phase; in a 10-minute aerobic pedaling exercise model, the combination of 2 weeks of training and anodal tDCS significantly increased pedaling duration significantly prolonged pedaling duration, but there was no significant difference between anodal tDCS and Sham stimulation. These findings suggest that the combined effects of endurance training and tDCS on pedaling exercise are modified by exercise duration and intensity.

研究分野：運動生理学

キーワード：経頭蓋的直流電気刺激 トレーニング 持続的運動 ペダリング運動

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

## 1. 研究開始当初の背景

近年の非侵襲的な脳や脊髄刺激法の発展は、脳や脊髄には短期ならびに中長期的な可塑性が存在することを明らかにしてきた。この中で、経頭蓋的直流電気刺激法(tDCS)は、うつ病の改善(Razza et al., 2020)、認知や記憶機能の向上(Talsma et al., 2017)、運動機能障害に対するリハビリテーション効果(Aloi et al., 2021)、運動パフォーマンスに対する効果(Sasada et al., 2017)を有することが多数報告されている。

これまでに我々の研究グループでは、30秒間の最大努力によるペダリング運動に対するtDCSの効果を検討し、陽極tDCSが運動開始直後の加速場面と運動最終局面におけるパフォーマンスを向上させる効果を持つことを明らかにした(Sasada et al., 2017)。また、その後の予備的実験研究において、低強度で運動時間10-15分程度のペダリング運動に対する効果は、10-30秒程度の高強度短時間運動より効果が大きいことが確認された。これらの結果は、tDCSの効果が運動強度や運動継続時間に依存することを強く示唆する。しかしながら、これまで、運動強度(運動負荷)が異なる運動継続時間のペダリング運動に対するtDCSの効果の量的差異は系統的に検討されていない。また、全身持久性運動に対するトレーニングとtDCSの併用効果については不明な点が多く残されているのが現状である。

## 2. 研究の目的

本研究では、運動強度と継続時間が異なるペダリング運動に対するtDCS効果を系統的に調べるとともに、60秒間と10分程度の運動強度と持続時間が異なる2種類の全力ペダリング運動をモデルとして、そのパフォーマンスに対する持続的トレーニングとtDCSの組み合わせ効果について明らかにすることを目的とした。

## 3. 研究の方法

### (1) 実験 : 運動強度(運動負荷)と持続時間が異なる最大努力による自転車ペダリング運動に対する経頭蓋的直流電気刺激(tDCS)の効果について

健康成人12名を対象として、8秒(負荷、体重 $\times 0.02\text{kp}$ )、約100秒(負荷、体重 $\times 0.075\text{kp}$ )、約10-15分(初期負荷、体重 $\times 0.06\text{kp}$ 、運動開始後5分後から、3分ごとに $0.5\text{kp}$ 漸増)の運動強度と持続時間が異なる3種類のペダリング運動のパフォーマンスに及ぼす大脳皮質運動野に対するtDCSの影響について検討を行った。8秒間課題では、開始から全力でペダリングを行うよう教示した。約100秒間課題では、開始直後より80rpmを維持させ、5秒間以上80rpmが維持できなくなった時点を継続時間とした。約10-15分課題では、開始直後より60rpmを維持させ、5秒以上60rpmを維持できなくなった時点を継続時間とした。すべての実験において、運動課題開始前に、tDCSは頭頂部(Cz)と右前額面に貼付した一対の電極(5 $\times$ 7cm)を用いて、直流電気刺激装置(DC-Stimulator Plus, NeuroConn, Germany、

以下全ての実験において同一の刺激装置を使用した)により刺激強度 2mA にて 15 分間運動前に座位安静状態にて刺激を与えた。なお、電流の上昇相と下降相の時間は 15 秒とした。陽極刺激では、Cz を陽極、陰極刺激では前額面を陽極として刺激を与えた。また、コントロールとして偽刺激を与える実験も行った。刺激は、被験者ごとにランダムに設定した。

## **(2) 実験 : 400m 走を想定した、60 秒間の全力ペダリング運動に対する持続的トレーニングと tDCS の効果について**

400m 走のような比較的短時間の高強度運動に対する有酸素的トレーニング効果と皮質運動野の興奮性変化の関係について明らかにするため、60 秒間の全力ペダリング運動をパフォーマンスの指標として、5 分間の比較的強度の高い有酸素的なトレーニングと経頭蓋的直流電気刺激(tDCS)の組み合わせによる効果を検討した。被験者は陸上競技 400m 走を経験したことのある男性 16 名(年齢、 $22 \pm 2.0$  歳)であった。被験者には、3 週間、3 回/週で、各回につき初期負荷値(体重  $\times 0.05$ kp)で、1 分ごとに負荷値(体重  $\times 0.003$ kp)を漸増させ、総時間 5 分間、80 回転を維持するトレーニングを行った。3 週間の有酸素的トレーニング前後に 2 日以上の日を開けて 60 秒間の全力ペダリング運動を行った(負荷:体重  $\times 0.075$ kp)。tDCS 群には、Cz を陽極、前額面を陰極とした tDCS を実験と同様の方法で与えた。Sham 群には、偽刺激を与えた。

## **(3) 実験 : 持久走トレーニングに対する tDCS の効果について**

長距離走を想定した 10 分程度継続可能なペダリング運動をモデルとして、2 週間の有酸素トレーニング時に、運動野に対して陽極 tDCS もしくは Sham 刺激を与え、その効果を検討した。被験者は日常的に運動を行っている健康な男女 16 名(男性 8 名、女性 8 名)であった。有酸素トレーニングとして、男子は体重  $\times 0.04$ kp、女子は体重  $\times 0.03$ kp の負荷とし、運動開始から 10 分間は 70rpm を維持し、残り 1 分は 90~100rpm に回転数を上げて維持する、総時間 11 分間のペダリング運動を行った。この有酸素トレーニングを 2 日以上の間隔を空けて週に 2 回ずつ計 4 回行った。トレーニング前後に実施された試験課題は、3 分毎に負荷値を増大させ、All out に至るまで継続する漸増負荷テストであった(漸増負荷値、男性:30w、女性 20w)。運動継続時間は 60rpm を 5 秒以上下回る時点とした。

## **4. 研究成果**

### **(1) 実験 について**

比較的負荷の低い約 8 秒間の短時間の全力ペダリング運動、特に回転速度に対する tDCS の効果を評価したところ、有意なパフォーマンス変化は見られなかった。陸上競技の中距離走を想定した、約 100 秒ペダリング課題では、tDCS を事前に与えた場合、陰極並びに偽刺激 tDCS に対して有意にペダリング継続時間が延長させる効果が見られた。10 - 15 分の漸増負荷による持続的ペダリング課題では、陽極 tDCS を与えた場合、陰極並びに偽刺激に対

して有意にペダリング継続時間が延長する効果が見られた。これらの結果は、皮質運動野に対する陽極 tDCS がペダリング運動に与える効果は、負荷と持続時間によって決定される生体に対する生理学的変化によって影響を受けることを示唆する。

## (2) 実験2について

図1に示したように、陽極 tDCS 刺激下でトレーニングを行った群では、60秒全力ペダリングの後半相(50~60秒区間)において Sham 刺激群に比して有意に高いパワー維持効果が見られた。従って、本研究結果は、比較的強度の高い有酸素的トレーニングと陽極 tDCS の組み合わせによって中枢疲労の発現動態が変化した結果、60秒間の全力ペダリング運動における後半のパワー発揮維持が改善されたものと示唆される。

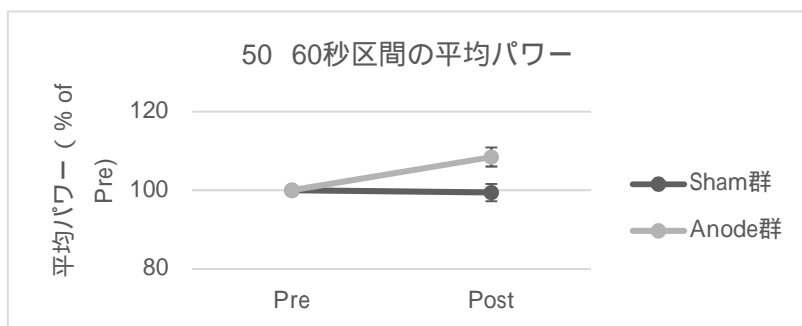


図1 3週間の持久的トレーニング実施前後における60秒間の全力ペダリング運動時の50~60秒区間における平均パワー値の変化。黒線は偽刺激群、灰色線は陽極刺激群を示す。縦軸数値は、トレーニング実施前の値で標準化した。トレーニング実施後に有意な増大が見られた ( $p < 0.05$ )。

## (3) 実験3について

トレーニング期間後には、陽極刺激群ならびに偽刺激群ともに、漸増負荷テストの運動継続時間は有意に延長した。一方、図2に示したように、陽極 tDCS による有意なトレーニング効果の増大効果は認められなかった。また、トレーニング実施前の運動継続時間とトレーニング効果を相関分析したところ、両群ともに緩やかな負の相関が見られた。このことは、持久能力が低い被験者ほどトレーニング効果ならびに tDCS の効果が高い可能性を示唆する。

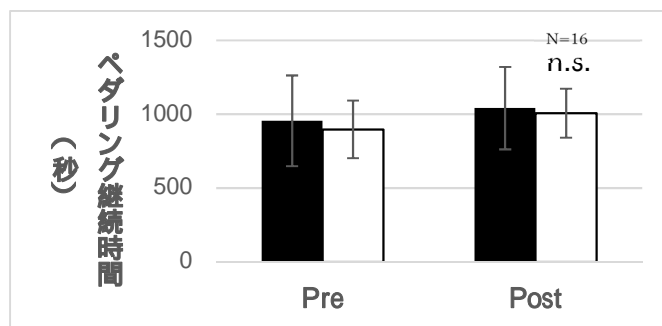


図2 tDCSが2週間の持続的トレーニングに及ぼす効果。黒バーは陽極刺激、青バー偽刺激の結果。

#### (4) 総括

本研究からは、陽極 tDCS は、短距離走から長距離走を想定した運動強度と持続時間が異なるペダリング運動に対して、そのパフォーマンスを向上させる効果を確認できた。加えて、400m 走を想定した 60 秒間の最大ペダリング運動に対するトレーニング効果を増強させる効果を確認できた。一方、当初の予想に反し、tDCS と持続的トレーニングの組み合わせは、持続的なペダリング運動のパフォーマンスを向上させなかった。この結果の要因として、トレーニングと tDCS の組み合わせ効果の男女差、持続的運動の負荷設定、ペダリング運動の持続時間、被験者の鍛錬度、トレーニング期間等の複雑な要因が考えられる。今後、持続的なトレーニング効果と大脳皮質興奮性の関連については、さらに持続時間の長い運動に関する実験、ならびに被験者の鍛錬度を規定した実験が重要であろう。

#### <引用文献>

Razza LB, Palumbo P, Moffa AH, Carvalho AF, Solmi M, Loo CK, Brunoni RB. (2020) A systematic review and meta-analysis on the effects of transcranial direct current stimulation in depressive episodes. *Depression and Anxiety*, 37(7): 594-608.

<https://doi.org/10.1002/da.23004>

Talsma LJ, Kroese HA, Slagter HA. (2017) Boosting Cognition: Effects of Multiple-Session Transcranial Direct Current Stimulation on Working Memory. *J Cogn Neurosci*. 29(4):755-768. doi: 10.1162/jocn\_a\_01077.

Aloi D, Della Rocchetta AI, Ditchfield A, Coulborn S, Fernández-Espejo D. (2021) Therapeutic Use of Transcranial Direct Current Stimulation in the Rehabilitation of Prolonged Disorders of Consciousness. *Front Neurol*. 12:632572. doi: 10.3389/fneur.2021.632572.

Sasada S, Endoh T, Ishii T, Komiyama T. (2017) Polarity-dependent improvement of maximal-effort sprint cycling performance by direct current stimulation of the central nervous system. *Neurosci Lett* 657:97-101. doi: 10.1016/j.neulet.2017.07.056.

笹田 周作, 石井 智也, 小林 優里, 清水 菜央, 小宮山 伴与志 (2022) 経頭蓋直流電気刺激による最大努力踏み台昇降ステップングパフォーマンスの改善. *体力科学* 71(2) 239-247. DOI <https://doi.org/10.7600/jspfsm.71.239>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 笹田 周作, 石井 智也, 小林 優里, 清水 菜央, 小宮山 伴与志	4. 巻 71(2)
2. 論文標題 経頭蓋直流電気刺激による最大努力踏み台昇降ステップングパフォーマンスの改善	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 体力科学	6. 最初と最後の頁 239-247
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7600/jspfsm.71.239	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Tomoya Ishii, Syusaku Sasada, Tomoyoshi Komiyama	4. 巻 10(4)
2. 論文標題 Possible neural mechanisms underlying post-contraction potentiation in elbow flexor muscle in humans	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine	6. 最初と最後の頁 171-179
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7600/jpfsm.10.171	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Syusaku Sasada, Takashi Endoh, Tomoya Ishii, Kazuma Kawashima, Shuta Sato, Akifumi Hayashi, Tomoyoshi Komiyama	4. 巻 3
2. 論文標題 Differential effects of transcranial direct current stimulation on sprint and endurance cycling	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Translational Sports Medicine	6. 最初と最後の頁 204-212
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/tsm2.129	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Tomoya Ishii, Syusaku Sasada, Shinya Suzuki, Tomoyoshi Komiyama	4. 巻 10
2. 論文標題 Transcranial direct current stimulation of primary motor cortex modulates post-contraction potentiation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine	6. 最初と最後の頁 13-23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7600/jpfsm.10.13	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 SASADA S, ENDOH T, ISHII T, KAWASHIMA K, SATO S, HAYASHI A, KOMIYAMA T.	4. 巻 -
2. 論文標題 Differential effects of transcranial direct current stimulation on sprint and endurance cycling	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Translational Sports Medicine	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/tsm2.129	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 中島 剛, 小宮山 伴与志	4. 巻 26(1)
2. 論文標題 歩行のヒト脊髄神経機構: 皮膚感覚による反射制御とその機能.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本運動生理学雑誌	6. 最初と最後の頁 19-26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 笹田周作, 小宮山伴与志	4. 巻 26(2)
2. 論文標題 直流電気刺激による運動パフォーマンス向上の試み	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本運動生理学雑誌	6. 最初と最後の頁 39-44
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件(うち招待講演 0件/うち国際学会 0件)

1. 発表者名 笹田周作, 石井 智也, 遠藤隆志, 中島剛, 小宮山伴与志
2. 発表標題 脊髄直流電気刺激によるサイクリング中の総腓骨神経反射振幅増大
3. 学会等名 日本運動生理学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 笹田周作、河野漢広、石井智也、尾崎康太、小宮山伴与志
2. 発表標題 繰り返しのスプリント運動間に与えられる経頭蓋直流電気刺激はスプリント運動パフォーマンスを改善する>
3. 学会等名 日本体力医学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石井智也
2. 発表標題 一次運動野に対する経頭蓋的直流電流刺激が筋収縮後増強に及ぼす影響
3. 学会等名 日本体力医学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石井智也、笹田周作、小宮山伴与志
2. 発表標題 随意筋収縮後の神経筋機能に直流電流刺激が及ぼす影響.
3. 学会等名 第27回日本運動生理学会大会(広島)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 笹田周作 石井智也 小宮山伴与志
2. 発表標題 継続的な運動の有無に応じた経頭蓋直流電気刺激による全力踏み台昇降運動パフォーマンスの改善
3. 学会等名 第27回運動生理学会
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 石井智也 笹田周作、鈴木伸弥、小宮山伴与志.
2. 発表標題 筋収縮後増強における筋電図パワースペクトラムの変化
3. 学会等名 第23回日本基礎理学療法学会学術大会、(新潟)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 笹田周作 石井智也 小宮山伴与志.
2. 発表標題 継続的な運動の有無に応じた経頭蓋直流電気刺激による全力踏み台昇降運動パフォーマンスの改善
3. 学会等名 日本スポーツ健康科学学会 第7回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 笹田周作 川島和真 戸村文 石井智也 小宮山伴与志
2. 発表標題 脊髄直流電気刺激による刺激条件依存的な持久性サイクリングの疲労軽減
3. 学会等名 第74回体力医学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Nakajima, H. Ohtsuka, S. Irie, Y., R. Ariyasu, T. Komiyama, and Y. Ohki
2. 発表標題 Visual stimulation-induced facilitation of indirect cortico-motoneuronal excitation in humans
3. 学会等名 第42回日本神経科学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Irie, T. Nakajima, S. Suzuki, R. Ariyasu, T. Komiyama, Y. Ohki
2. 発表標題 Motor imagery increments the cortico-motoneuronal excitation mediated via presumed cervical interneurons in humans.
3. 学会等名 Neuroscience 2019, Chicago USA
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関