

平成30年5月26日現在

機関番号：42722

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K16498

研究課題名(和文) スプリントパフォーマンスを向上させる神経活動増幅技術の開発

研究課題名(英文) Improvement of sprint performance by Neural boosting

研究代表者

笹田 周作 (SASADA, Syusaku)

相模女子大学短期大学部・その他部局等・准教授

研究者番号：80624824

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：全カスプリント運動中の疲労は中枢神経系より筋へ伝達される下行性指令の機能低下が一因である。そこで本研究課題では下行性指令に關する脊髄及び運動野に対し、その興奮性を修飾する直流電流刺激(DCS)を与えることで、疲労を抑制しパフォーマンスを向上させる刺激方法の開発を行った。運動前の脊髄に対しDCSを与えることで、スプリントパフォーマンスを改善することが可能であった。運動皮質へのDCSはスプリントパフォーマンスを改善する事が出来なかった。一方で、運動皮質へのDCSは持久性運動のパフォーマンスを改善する事が出来た。

研究成果の概要(英文)：Running speed in a short-distance sprint gradually decreases after reaching the maximum. The deterioration of sprint motor performance could be account for by a decrease in descending commands from the central nervous system to active muscles. Direct current stimulation (DCS) to the spinal cord and motor cortex has been used to modulate and enhance descending commands. Therefore, we investigated how sprint motor performance was modulated after DCS to the motor cortex and spinal cord.

Power during sprint cycling over 30 s was significantly increased after cathodal DCS to the spinal cord. Neither anodal nor cathodal DCS to the motor cortex could not induce improvement of sprint cycling performance. On the other hand, the anodal DCS to the motor cortex could induce improvement of the endurance cycling.

研究分野：運動生理学

キーワード：中枢性疲労 直流電流刺激 ニューロモジュレーション 移動行動 スプリントパフォーマンス 持久性パフォーマンス エルゴジェニック効果

1. 研究開始当初の背景

100m, 200m, 400m 走の全力疾走といったスプリント運動を行うと、スタートから60-80m の距離で最大速度に達し、その後緩やかに速度が低下する。このような数十秒間の全力運動中に生じる疲労の一部は、中枢神経系から筋へ伝達される下行性指令の機能低下が原因であり、全力運動の継続によってパフォーマンスが低下していても、筋にはまだ力を発揮できる余力が残されていると考えられる。

近年、中枢神経系の興奮性を非侵襲性に修飾する刺激方法として、直流電流刺激(Direct current stimulation:DCS)が開発されてきた。この刺激は刺激領域周辺のニューロン群及び神経回路網の興奮性を修飾し、筋へ伝達される下行性指令を増強することが可能である。

従って、この DCS を用いて中枢神経系から筋へ伝達される下行性指令を増強できれば、中枢性に生じる下行性指令の機能低下を補って、スプリント運動時の疲労を抑制し、パフォーマンスの向上を引き出せる可能性がある。

2. 研究の目的

本申請ではスプリント運動時の中枢神経系へ DCS を与えることで、中枢神経系から筋へ伝達される下行性入力を増幅し、中枢性疲労によるスプリントパフォーマンスの低下を抑制する“神経活動増幅”技術の開発を行う。そしてこの技術を用いて中枢性疲労を抑制することで、通常では得られない高い負荷をかけてトレーニングする新たな神経科学的スプリントトレーニング方法の開発を試みる。最終的にフィールドで使用可能なトレーニング方法へと発展させることを目指す。

3. 研究の方法

本研究では、スプリントパフォーマンスの向上を引き起こす刺激パラメータの検討として、刺激部位、刺激タイミング、刺激の電流方向及び適切な運動課題の探索を行った。

刺激部位はこれまでに中枢性疲労の関与が明らかにされている運動野、及び脊髄を標的部位とした。

DCS による中枢神経系の興奮性修飾効果は刺激を与えている最中の中枢神経系活動に依存する。従って、刺激中に運動課題を行う、あるいは行わずにその効果を比較した。

刺激の電流方向は2条件とし、標的部位上に貼付した電極を陽極(Anodal)、陰極(Cathodal)の両条件で効果を比較した。コントロール条件として、刺激を行わない疑似刺激(Sham)条件も加えて行った。

運動課題は、実験的な制御が容易なことからサイクリング運動を用いた。また、運動の様態は陸上の走種目の世界記録を参考に、おおよそ800-1500m 走程度の運動時間を境に、運動時間が短いものをスプリント運動、運動

時間が長いものを持久性運動と定義し、様々な運動様態にて DCS の効果を検討した。

4. 研究成果

脊髄への DCS によるスプリントパフォーマンスへの影響

安静状態にある被験者に対し、第11胸椎—第1腰椎に貼付した電極にて DCS(15分, 3mA)を与え、DCS 後に30秒間の全力サイクリングによるスプリントパフォーマンスを評価した。サイクリングの負荷は0.075kp/kg of body weight(BW)であった。その結果、脊椎上電極の極性が陰極の場合において、30秒間の平均パワーが刺激無し時と比較して有意に向上した。一方で最大パワーの変化は刺激の有無及び極性で変化しなかった(図1)。

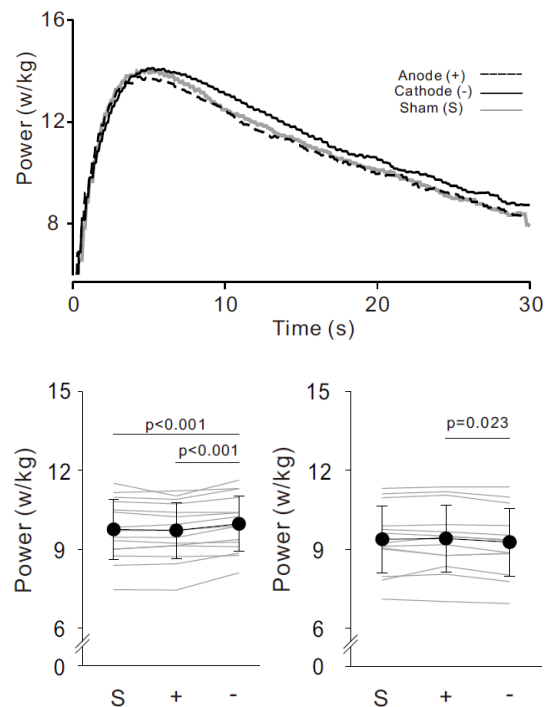


図1. 上: 脊髄 DCS 後の 30 秒間全力スプリントサイクリングにより得られた発揮パワー曲線(n=1). 各ラインは DCS の刺激条件の違いを示している。下左: 被験者 15 名における脊髄 DCS 後の 30 秒間平均サイクリングパワー(黒色丸)。灰色線は被験者 1 名のデータを示している。図中の“+”、“-”は脊髄上の電極がそれぞれ、陽極、陰極の条件であることを示す。“S”は刺激を与えない疑似刺激条件を示す。下右: 被験者 13 名における皮質 DCS 後の 30 秒間平均サイクリングパワー。図の表記は左図と同様である。これらの図は Elsevier より許可を得て Sasada et al., Neuroscience Letters, 657:97-101 (2017)より引用した(License No.: 4355990853163)。

脊髄 DCS を運動中に行った際の効果を検討するため、被験者6名で15分間の脊髄 DCS 中に3分間のウォームアップ及び30秒間の全力サイクリングを行った。これらの条件でスプリントパフォーマンスを比較したとこ

る、何れの刺激条件においても、顕著なサイクリングパフォーマンスの向上は生じなかった。

運動皮質への DCS によるスプリントパフォーマンスへの影響

安静状態にある被験者に対し、下肢筋群を支配する運動野付近に貼付した電極にて DCS(15分, 2mA)を与え, DCS後に30秒間の全力サイクリングによるスプリントパフォーマンスを評価した。その結果, 運動野上の刺激極性に関わらず, 皮質への DCS はスプリントパフォーマンスを向上させることが出来なかった。

同様の刺激プロトコルにて, 皮質 DCS の効果を8秒間の全力スプリントサイクリングでも検討を行った(図2)。サイクリングの負荷は0.02kp/kg of BWであった。8秒間のスプリントサイクリングでも, 運動後半にパワーの低下が生じるにもかかわらず, 皮質 DCS は何れの刺激条件でも8秒間のスプリントパフォーマンスを改善することが出来なかった。被験者12名の平均値においても有意なパフォーマンスの修飾は生じなかった。

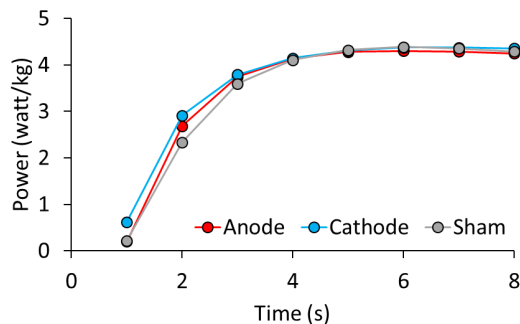


図2. 皮質 DCS 後の8秒間全力スプリントサイクリングにより得られた発揮パワー曲線(n=1)。各プロットは1秒間ごとの平均発揮パワーを示す。

皮質 DCS による持久性運動パフォーマンスへの影響

最大下回転数でのサイクリングにおいて, 皮質への DCS が定常回転の持続時間に与える影響を検討した。DCS は上記と同様の刺激パラメータを用いた。サイクリングは60rate per minutes(rpm)を出来る限り維持する持久性運動とした。サイクリングの負荷は運動開始から5分後までが0.06kp/kg of BW, 開始5分後から3分ごとに0.5kp 漸増した。DCS が与えられない疑似刺激条件でのサイクリング持続時間は, おおよそ700秒程度であった。頭頂部の電極を陽極とした場合, 刺激後に行ったサイクリング課題の持続時間が延長した(図3)。これらの結果と同様に, 被験者12名において陽極刺激条件で有意なサイクリング持続時間の延長が生じた。

皮質 DCS の効果を, より高強度の定常回転持続サイクリング運動においても検証した。DCS は上記と同様の刺激パラメータを

用いた。サイクリング課題は, 負荷0.075kp/kg of BW で, 回転数は80rpmとした。DCS が与えられない疑似刺激条件でのサイクリング持続時間は, おおよそ130秒程度であった。上記と同様に頭頂部の電極を陽極とした場合, 刺激後に行ったサイクリング課題の持続時間が延長した。被験者9名において陽極刺激条件で有意なサイクリング持続時間の延長が生じた。

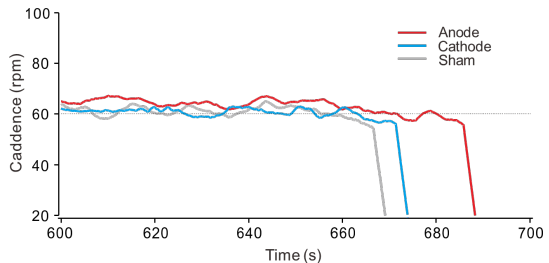


図3. 皮質 DCS 後の持久性サイクリング課題中に得られた回転数変化 (n=1)。

本研究課題で得られた成果をまとめると, 脊髄 DCS は30秒程度のスプリント運動における疲労を抑制し, パフォーマンスの向上を引き起こすことが可能である。皮質 DCS によってスプリントパフォーマンスの向上を引き起こすことは難しいが, 130~700秒程度で疲労困憊となるような持久性運動の疲労を抑制し, パフォーマンスの向上を引き起こすことが可能である。全力スプリント運動の疲労をニューロモジュレーション技術により抑えることで, パフォーマンスの向上に成功したのは, 本成果が世界で初めてである。皮質 DCS による持久性運動パフォーマンスの向上は, 先行研究によっていくつか報告がなされている。しかしながら, 皮質 DCS がスプリント運動には効果が乏しく, 持久性運動には効果を発揮するという運動様態依存性を明らかにしたのは本研究成果が世界で初めてである。

脊髄 DCS によるスプリントパフォーマンスの向上は, 最大パフォーマンスを向上させるという点で, スポーツ現場へ応用性の高い成果である。また本研究で明らかとなった刺激パラメータはトレーニング方法開発に向けて有望な成果であったと考える。皮質 DCS によるスプリント運動のパフォーマンス改善は難しいが, 持久性運動のパフォーマンスを改善できるという運動様態依存性は, “全力運動における中枢性疲労領域が運動様態によって異なるかもしれない”という新たな研究の視点を示唆するものであった。従って, 本研究の成果はスポーツ科学のみならず, 神経科学領域においても価値のある成果であると考える。

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2件)

笹田周作, 小宮山伴与志, 直流電流刺激による運動パフォーマンス向上の試み, 運動生理学雑誌, 招請総説, in press.

Sasada S, Endoh T, Ishii T, Komiyama T, Polarity-dependent improvement of maximal-effort sprint cycling performance by direct current stimulation of the central nervous system, *Neuroscience Letters*, 査読有, 657巻, 2017, 97-101.
doi.org/10.1016/j.neulet.2017.07.056

[学会発表](計7件)

Sasada S, Endoh T, Ishii T, Kawashima K, Sato S, Hayashi A, Komiyama T, Improvement of cycling power output following transcranial direct current stimulation depends on the exercise duration, *Society for Neuroscience*, 2017, Washington DC, USA.

笹田周作, 石井智也, 川島和真, 佐藤洲太, 林瑛良, 遠藤隆志, 運動モードに依存した経頭蓋直流電流刺激によるサイクリングパフォーマンスの向上, 日本スポーツ健康科学学会, 2017, 東京都.

笹田周作, 小宮山伴与志, 直流電気刺激を用いたサイクリングパフォーマンス向上の試み, 日本運動生理学会(シンポジウム), 2017, 神奈川県.

Sasada S, Endoh T, Ishii T, Komiyama T, Improvement of sprint cycling performance by trans-spinal direct current stimulation, *Society for Neuroscience*, 2016, San-Diego, USA.

笹田周作, 石井智也, 遠藤隆志, 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, 日本体力医学会, 2016, 岩手県.

笹田周作, 石井智也, 遠藤隆志, 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, 日本運動生理学会, 2016, 熊本県.

笹田周作, 遠藤隆志, 小宮山伴与志, 脊髄直流刺激によるスプリントパフォーマンス向上の試み, 日本スポーツ健康科学学会, 2015, 神奈川県.

[図書](計0件)

[産業財産権](計0件)

[その他]

○研究会発表

笹田周作, 直流電気刺激を用いたスプリントパフォーマンス向上の試み, 身体運動制御の会(体力医学会関連研究会), 2017.

○ホームページ等

相模女子大学ホームページ, 研究成果 (http://www.sagami-wu.ac.jp/guideline/kenkyu/result/contents/detail/2017sasada_shusaku01.html)

6. 研究組織

(1)研究代表者

笹田 周作 (SASADA, Syusaku)

相模女子大学・短期大学部・食物栄養学科・准教授

研究者番号: 80624824