

令和 3 年 6 月 28 日現在

機関番号：42722

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K10916

研究課題名(和文) スプリントパフォーマンスの向上を引き起こす人工的な体性感覚技術の開発

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

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) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は100m走の様な全力疾走で脳や脊髄に生じる疲労の改善を目指し、より高いスプリントパフォーマンスを実現する体性感覚増強技術を開発する目的で行った。走行時の脳や脊髄の疲労を引き起こす可能性のある下肢の体性感覚を電気刺激により増強した結果、10秒×3回の全力スプリント運動における平均パワーが増加した。この平均パワーの増加は疲労の軽減に起因していた。一方最大パワーの変化は生じなかった。この電気刺激により感覚神経で誘発される活動電位の一部は、中枢神経系を介して大腿部の膝関節伸筋群へ伝達されることが知られている。この膝関節伸筋群へ伝達される下行性指令は脊髄部への直流電気刺激で更に増強された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で得た人工的な体性感覚の増強によるスプリントパワーの改善は、100m走等のスプリント運動を必要とするアスリートのパフォーマンスを向上させるという点で、スポーツ現場に高い貢献が期待される。また、脊髄への直流電気刺激と組み合わせることで、さらなるパフォーマンスの向上が期待できる。一方、これらの刺激によるパフォーマンス改善は、脳や脊髄が筋の能力を完全に使い切れていない事を意味する。これらの研究成果が発展することで、疲労のメカニズムや潜在能力を引き出すトレーニング方法開発につながる可能性がある。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to reduce the degradation of sprint performance attributed to fatigue by boosting somatosensory afferents. Repetitive electrical stimulation was applied to the common peroneal nerve (CPN) to artificially boost the dorsiflexor afferent from the ankle joint. Subjects performed three sets of maximum sprint cycling (10 s each) with and without repetitive CPN stimulation. The average power was significantly higher in sets with repetitive stimulation compared to sets without stimulation. The improvement was attributed to a smaller decrease in power in the third cycling set. Maximum power was not improved by the stimulation. In addition, the reflex response in the knee extensor following CPN stimulation was increased by direct current stimulation of the lumbar spinal cord.

研究分野：運動生理学、神経科学、スポーツ科学

キーワード：中枢性疲労 スプリントパフォーマンス 反射 直流電気刺激

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

100 - 400m 走の全力疾走を行うと、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。このような短時間の全力運動により生じるパフォーマンス低下の一部は、中枢神経系から筋へ伝達される下行性指令の機能低下により、筋を適切に動員できないために生じる。この機能低下の一端は末梢の筋より生じる体性感覚入力への減弱に起因する可能性がある。従って、体性感覚入力を増強することが出来れば、スプリントパフォーマンスの改善につながる可能性がある。スプリントパフォーマンスは陸上運動を始め、サッカー、テニス、水泳など様々なスポーツの競技成績を決定づける重要な体力要素である。先行研究にて、体性感覚入力への減弱が、等尺性力発揮における最大筋力の低下に関与することが報告されてきた。しかしながら走行やサイクリングといった実践的な運動に対する影響は明らかにされていなかった。そこで、本研究は体性感覚増強による走行やサイクリング等の実践的な移動運動の疲労軽減に着目した。

2. 研究の目的

本研究では、(1)末梢神経より生じる体性感覚を人工的に制御することで疲労を抑制し、スプリントパフォーマンスの向上を引き起こす人工体性感覚の増強方法を明らかにする。さらに、(2)これまでに疲労抑制効果が明らかにされている脊髄への直流電気刺激(trans-vertebral spinal direct current stimulation:tsDCS)と組み合わせることで、より高いスプリントパフォーマンスを引き出す刺激方法を探索する。

3. 研究の方法

(1)人工的な体性感覚の増強によるスプリントパフォーマンスの改善：筋や皮膚などの体性感覚情報は末梢神経を介して中枢神経系に伝達される。末梢神経へ電気刺激を与えると、人為的に活動電位を引き起こすことが可能である。そこで、連発電気刺激を末梢神経へ与えることで人工的に体性感覚を増強し、刺激の有無によるスプリントパフォーマンスの改善が得られるか否かを検証した。

(2)tsDCS 後の反射振幅修飾：末梢神経への刺激は中枢神経系の反射中枢を介して筋活動の増強や減弱を引き起こす。また、tsDCS はスプリントパフォーマンスの改善を引き起こすことが明らかにされている(Sasada et al. 2017)。そこで、上記(1)でスプリントパフォーマンスを改善する末梢神経刺激を対象に、刺激後に筋で生じる筋活動変化(反射振幅)が tsDCS により更なる増強が生じるか否かを検証した。

4. 研究成果

(1)総腓骨神経への連発電気刺激によるサイクリングパワーの改善：総腓骨神経は足関節の底背屈運動に関連した体性感覚を中枢神経系に伝達する末梢神経の 1 つである。この足関節からの体性感覚情報は歩行や走行中の膝伸筋群活動を増強する役割を持つことから、総腓骨神経を対象として、足関節運動に関連した体性感覚の増強によるスプリントパワーの改善を試みた。被験者は 10 秒間の全力スプリントサイクリングを 30 秒インターバルで 3 セット行った。負荷は 0.02kp/kg body weight であった。刺激は 100Hz の矩形波パルスを各セット開始 3 秒前より与えた。

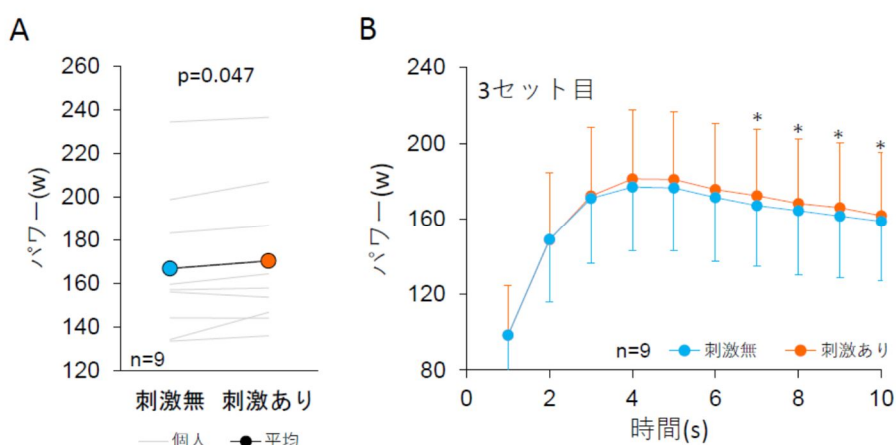


図1 体性感覚増強によるスプリントパワー変化。A: 10秒×3セットの平均パワー。p値は対応のあるt検定より算出した。B: 第3セット目における1秒毎の平均パワーと1SD。2元配置分散分析により刺激と時間に有意な相互作用があった(p=0.039)。アスタリスクは post-hoc test による有意差(p<0.05)を示している。

刺激強度は前脛骨筋運動閾値の~0.7倍程度とした。被験者9名にてサイクリングパワーを検証したところ、10秒間×3セットの平均パワーが有意に向上した(図1A)。パワーの変化を詳細に観察すると、3セット目の後半相で有意なパワーの改善が生じていた(図1B、7-10秒)。一方で、

各セットの最大パワーに有意な改善は生じなかった。

運動肢の体性感覚を人工的に増強することで、実践的な運動のスプリントパフォーマンスを改善する事が出来た。刺激に用いた運動閾値の0.7倍という刺激強度は、主に筋紡錘より生じる体性感覚を惹起していると考えられる。筋より生じる体性感覚を人工的に制御することで、サイクリングという実践的なスプリントパフォーマンスの改善を示したのは本研究が初めてである。また、この体性感覚の増強によるパワーの改善は疲労の軽減に起因していた。従って、この技術を応用すれば、より高い強度のトレーニングや、中枢神経系のトレーニングの開発につながる可能性がある。

(2)tsDCS 後の反射振幅修飾：総腓骨神経反射(CPN 反射)の tsDCS による増強：上記(1)でパフォーマンスの改善が得られた総腓骨神経を対象に、総腓骨神経刺激後に膝伸展筋群に生じる反射振幅が tsDCS により増強されるか否かを検証した。被験者が自転車サイクリング運動中(60 回転/分、0.02kp/kg body weight)、膝伸展筋群の活動が生じる位相(刺激側のペダル位置が 12 - 3 時付近)で電気刺激を総腓骨神経へ与え、外側広筋(VL)に生じる反射の振幅を tsDCS 前後で比較した。tsDCS は Th12 - L1 の椎間部及び右肩に貼付したラバー電極(3×5cm)にて与えた。刺激強度及び時間は 3mA、15 分とした。刺激極性は背部を陰極、肩部を陽極とした。CPN 反射が出現する刺激後 27 - 45ms 付近で出現する反射振幅が(図 2A、青色)、tsDCS 後に顕著に増大した(図 2A、橙色)。同様の検証を被験者 8 名で行ったところ、有意な振幅の増大が得られた(図 2B)。これに対し、6 名にて実施した疑似刺

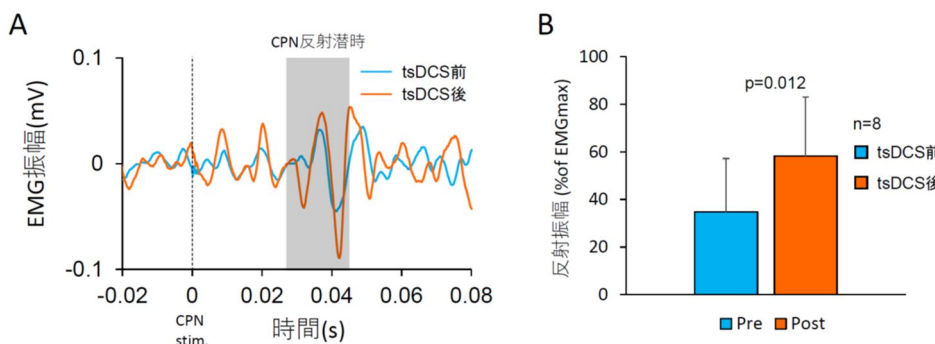


図 2 tsDCS 前後の外側広筋における CPN 反射。A:被験者 1 名における反射修飾の典型例。刺激強度は前脛骨筋運動閾値の 1.3 倍であった。背景筋電図活動量は最大随意収縮時の 18%程度であった。横軸は総腓骨神経への刺激時を基準としている(CPN stim.)。図中の灰色部は CPN 反射が出現する潜時を示す。B:CPN 反射振幅の平均値と 1 SD。青及び橙色はそれぞれ tsDCS 前後の結果を示す。図中の p 値は対応のある t 検定により算出した。

激による検証では、有意な反射振幅の増大は生じなかった。

これらの結果は、tsDCS による中枢神経系の興奮性修飾は、総腓骨神経刺激より膝伸展筋群へ伝達される下行性指令を増強できることを示している。従って、総腓骨神経刺激と tsDCS を組み合わせることで、さらなるスプリントパフォーマンスの改善につながる可能性がある。また、tsDCS により CPN 反射が増強されたこと、tsDCS(Sasada et al. 2017)及び総腓骨神経刺激によりスプリントパフォーマンスが改善されることを踏まえると、スプリント運動中の体性感覚情報変化が中枢性疲労に関与している可能性がある。従って、本研究成果は中枢性疲労に関与する体性感覚情報のメカニズムを明らかにする一端と成り得るかもしれない。

(3)当初予期しなかった研究成果

tsDCS によるサイクリング回転数の増加：上記(2)の検証を行う中で、60 回転/分、0.02kp/kg body weight の軽負荷定常回転サイクリングの回転数を tsDCS が上昇させる結果を得た。被験者は視覚及び聴覚情報を制限された中で 60 回転/分を維持するようサイクリング運動を試みた。背部を陰極、肩部を陽極とする tsDCS を与えた場合、その tsDCS 前後で 2 分間の平均回転数を比較すると tsDCS 後に 2%程度の有意な回転数の上昇が生じた(被験者 10 名)。これに対し、同被験者で疑似刺激を与えた場合、有意な回転数の上昇は生じなかった。

tsDCS がサイクリングを含む移動行動のリズムに影響を与える可能性を齧歯類で調査した先行研究が存在する(Ahmed 2013)。一方で、ヒトで検証し変化の生じる結果を得たのは本研究が初めてである。

サイクリング運動中における CPN 反射利得の増大：上記(2)の検証を行う中で、等尺性筋収縮中と比して、サイクリング中の CPN 反射利得が増大する事を発見した。反射振幅は、反射を誘発する筋の背景筋活動レベルに依存する。しかしながら、その活動レベルを同等にし、刺激強度を一定にした条件においても、サイクリング中の CPN 反射が等尺性筋活動に比して有意に増大した(被験者 6 名)。

これまでに、CPN 反射利得の歩行依存的な増大が報告されている(Marchand-Pauvert and Nielsen 2002)。しかしながら、サイクリング運動でも同様の結果が得られるかは明らかにされていない。

これら及びの成果はヒト移動行動のリズム生成に関わる中枢神経系機構の解明につながる可能性がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

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, Toshiki Tazoe, Tsuyoshi Nakajima, Shigeki Omori, Genki Futatsubashi, Tomoyoshi Komiyama	4. 巻 125
2. 論文標題 Arm cycling increases the short-latency reflex from ankle dorsiflexor afferents to knee extensor muscles	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Neurophysiology	6. 最初と最後の頁 110-119
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1152/jn.00299.2020	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 70
2. 論文標題 直流電気刺激によるサイクリングパフォーマンスの改善	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 体育の科学	6. 最初と最後の頁 800-805
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 無
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7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

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回日本運動生理学会
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7回スポーツ健康科学学会
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回日本体力医学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 笹田周作, 石井智也, 遠藤隆志, 小宮山伴与志
2. 発表標題 脊髄直流電気刺激による 不随意的サイクリングケイデンスの上昇
3. 学会等名 第26回日本運動生理学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 笹田周作, 石井智也, 遠藤隆志
2. 発表標題 脊髄直流電気刺激による不随意的サイクリング回転数の上昇
3. 学会等名 第6回スポーツ健康科学学会
4. 発表年 2018年

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 脊髄直流電流刺激による サイクリング位相依存的な皮膚反射の修飾
3. 学会等名 第73回日本体力医学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S SASADA, T YAMAGUCHI, T ISHII, T NAKAJIMA, T ENDOH, T KOMIYAMA
2. 発表標題 Involuntary changes in leg cycling cadence following transcutaneous spinal direct current stimulation
3. 学会等名 Society for Neuroscience 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018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
研究協力者	小宮山 伴与志 (Komiya Tomoyoshi)		

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
---------	---------