

令和 4 年 6 月 13 日現在

機関番号：32670

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18K10847

研究課題名（和文）ヒトの走行動作における運動記憶の人為的操作

研究課題名（英文）Manipulation of motor memory in human running movement

研究代表者

小川 哲也（OGAWA, Tetsuya）

日本女子大学・家政学部・講師

研究者番号：60586460

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）：ヒトの移動動作における代表的なモードの一つである走行について、トレーニングを通して生じる運動記憶（トレーニング効果）を脳の運動関連領域に対する電気刺激による興奮状態の変化から操作的に変更できる可能性について検討した。電気刺激により運動記憶を操作できるとの結果には至らなかった一方で、より簡易に当該の脳部位の興奮状態を変化させると想定される特殊な力学的条件下での歩行学習課題では、条件の変化に応じた特異的な運動記憶の想起が生じるとの結果を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

走行動作のパフォーマンスの良し悪しはスポーツの多くの局面において、記録や勝敗に関わる重要な要素であり、また社会的にも、人々の日常生活における移動機能としても重要な役割がある。簡易に実施できる脳への電気刺激でそのトレーニング効果を操作的に変更できれば、走行動作のトレーニングを効率化できる可能性がある。またスポーツやリハビリの場面におけるトレーニング戦略の構築に対して有用な提案ができることが見込まれる。

研究成果の概要（英文）：We investigated the possibility to manipulate motor memory of human running acquired through training intervention by alteration of the excitability of the motor-related areas of the brain by transcranial electrical stimulation. While manipulation of the motor memory was not evident through the current study, exposure of the subjects to specific mechanical conditions that could be considered to alter the excitability of the brain area induced a clear recollection of the motor memory of walking that was dependent on the specificity of the given mechanical conditions.

研究分野：運動神経生理学

キーワード：走行 歩行 運動学習 経頭蓋直流電気刺激

1. 研究開始当初の背景

(1) 私たちが日常で行う身体の運動はすべて、生まれてから現在に至るまでの経験を通して「運動記憶」として中枢神経系に形成された運動パターンが想起された結果と捉えることができる。運動記憶には高い文脈依存性が存在する。すなわち、ある特定の状況下で形成された運動記憶は、その後、運動記憶形成時により近い状況下で想起される特性が最近、**Nozaki** ら (**eLife, 2016**) の報告により明らかとなった。上肢の到達運動を対象に計測したこの報告では、それぞれ異なる運動記憶(動作パターン)を生じさせる 2 種類の運動学習(トレーニング)課題が行われ、同時に各々の運動学習(トレーニング)条件下で、経頭蓋直流電気刺激(以下、**tDCS**)を使用して脳の運動関連領域に 2 種類の異なる脳状態(脳状態 および) のいずれかを生じさせた。運動学習課題を通して形成された運動記憶は学習時の脳状態に対して特異性が高く、すなわち、脳状態 を伴って学習した運動記憶はその後に再び脳状態 が再現された際に、また脳状態 の下で学習した運動記憶は脳状態 の再現により想起された。この報告により、電気刺激により特定の脳状態を作り出すことで、運動記憶を操作できることが明確に示された。

(2) 本研究では、同様の **tDCS** による脳の運動関連領域への刺激を用いて、ヒトの走行動作における運動記憶の操作を目的とする。前述の **Nozaki** らの報告における腕到達運動と比べると、左右の下肢のより複雑な関節運動の組み合わせを呈し、且つ、中枢神経系における制御戦略の観点では自動性の高い運動として位置づけられる。腕到達運動とは一定の相違点が認められる一方で、自動性の高い運動の制御にもまた脳の運動関連領域が関与する点や、運動関連領域以外の脳領域を標的とした実験系において、動作パターンが走行に比較的近い歩行でも、運動学習に対する **tDCS** の介入効果(**Jayaram et al. J Neurophysiol, 2011**)が明らかにされていることから、本研究の目的に対しても想定する効果を発揮できる可能性が十分に考えられた。

走行動作のパフォーマンスの良し悪しはスポーツの多くの局面において、記録や勝敗に関わる重要な要素であり、また、日常動作における移動機能としても重要な役割が認められる。運動記憶の操作を通して動作の改善が可能となればトレーニング戦略の構築に対して有用な提言ができると考えられた。

2. 研究の目的

ヒトの走行動作中の脳部位に対して **tDCS** による微弱な電流刺激を与え、運動関連部位の興奮状態を変化させることで、走行動作の学習に関わる運動記憶を体系的に操作できる可能性について検討するものである。特にスポーツの場面でよく見られるように、ヒトの運動パフォーマンスには好調や不調が不可避に生じるが、本研究によりその方法の確立に向けた知見が得られると、脳の興奮状態の操作によって好調時の運動記憶を人為的に想起させることが可能となり、結果、運動パフォーマンスの向上はもちろんのこと、特に深刻なスランプからの脱出といった効果が見込まれる。本研究では、トレッドミル上の特殊な力学的環境下での走行動作の運動学習を対象に、異なる特性を持つ脳への 2 種類の電流刺激を用いて、各々の刺激によって生じる運動記憶の形成における特性、および、各々の刺激によって形成された運動記憶が電流刺激の切り替え(すなわち、脳の興奮状態の操作)によりどのように変化するか、の二点について重点的に検討する。

3. 研究の方法

左右分離型トレッドミルを用いて、左右のベルト速度が互いに異なる特殊な力学的環境下での走行課題(すなわち、運動記憶形成のためのトレーニング)を行う。本研究以前の申請者らの取り組みより、左右 2 枚のベルトが互いに異なる条件で 10 分程度の走行(学習、トレーニング)を行うと、その後(トレーニング効果の想起時)の速度比が 1 : 1 の速度下(すなわち、通常の走り慣れた路面)では、左右の脚の間で地面に対する踏み込みの力に著しい左右差(すなわち、トレーニング効果)が生じることを確認している。学習時の左右のベルト速度比が異なる条件ではそれぞれ、その後が生じるトレーニング効果も異なる。本研究では、異なるトレーニング効果を生じさせる力学的条件 と力学的条件 をそれぞれ使い、あわせて、大脳皮質の運動領域に対し、**tDCS** による微弱な電気刺激(刺激領域の興奮性を増大させる刺激条件 および、興奮性を低下させる刺激条件)を行った。学習(トレーニング)時とその後トレーニング効果の想起時でトレッドミル上の異なる力学的条件と **tDCS** による異なる刺激条件を組み合わせることで走行における運動記憶を操作的に変更できる可能性について検討した。また、検討の初期段階で、脳の運動関連領域の興奮性を **tDCS** の使用よりも簡易に変更できる可能性のある力学的条件(走行時の前方または後方への体幹部の牽引)についても、走行と並んでヒトでの移動動作における代表的な運動形態である歩行を対象に同様の検討を行った。

4. 研究成果

検討の初期段階で取り組んだ、歩行動作に対する走行時の前方または後方への体幹部の牽引を伴う力学的な条件を課した課題では、各々の力学的条件(前方牽引および後方牽引)に特異的なトレーニング効果の想起が生じた。結果を図1(A、B)に図示する。左右分離型トレッドミル上での左右のベルトが互いに異なる速度で動作する状況での歩行の学習について、体幹部に対する前方からの牽引を伴う条件下での学習(トレーニング)により生じた学習(トレーニング)効果(左右非対称な運動パターン)は、その後、前方からの牽引を伴う条件下でより大きく想起され(図1(A))、反対に、後方からの牽引を伴う条件下で獲得した学習(トレーニング)効果は、その後の後方牽引を伴う歩行条件下でより強固に顕在化する結果が明らかとなった。すなわち、学習(トレーニング)効果を効果的に想起(顕在化)させる上で、学習(トレーニング)時に課されていた力学的条件の再現が重要である可能性を示す結果が得られた。

前述の実験系における2種類の異なる力学的条件を次に、tDCSを用いた大脳皮質の運動領域への刺激に置き換えて歩行動作での学習(トレーニング)効果の想起について検討した。走行中の脳部位に対する刺激方法や刺激強度の調整など基本的な検討から始め、被験者9名を対象とした計測を実施し、並行して解析プログラムの作成に取り組み、取得したデータについて、順次、データ解析を行った。検討すべき指標など研究分担者との間で繰り返し議論を重ね、既に取得したデータについて様々な方面より検討したが、仮説として当初掲げた、経頭蓋直流電気刺激により生じる異なる脳状態に依存した運動学習(トレーニング)効果の想起を示す結果は確認できず、今後の更なる検討課題として残った。

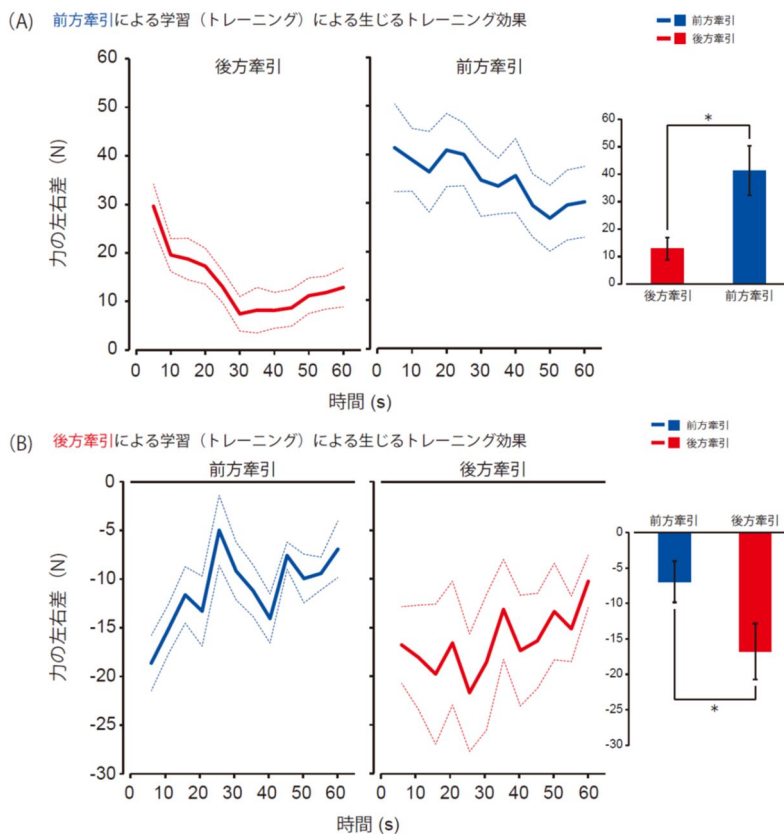


図1(A)前方牽引および(B)後方牽引を伴う歩行の学習(トレーニング)後に想起される学習(トレーニング)効果。いずれも、絶対値の大きさが学習(トレーニング)効果のサイズを表す。前方牽引の条件下で獲得した学習(トレーニング)効果は、その後の前方牽引条件下の歩行でより大きく想起され(A)、後方牽引の条件下で獲得した学習(トレーニング)効果は、その後の後方牽引条件下の歩行でより大きく想起される。データは各8名の平均値。

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 3件）

1. 著者名 Yuta Goto, Tetsuya Ogawa, Gaku Kakehata, Naoya Sazuka, Atsushi Okubo, Yoshihiro Wakita, Shigeo Iso, Kazuyuki Kanosue	4. 巻 16(10)
2. 論文標題 Spatiotemporal inflection points in human running: effects of training level and athletic modality	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0258709
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1371/journal.pone.0258709. eCollection 2021	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 Hiroki Obata, Gee Hee Kim, Tetsuya Ogawa, Hirofumi Sekiguchi, Kimitaka Nakazawa	4. 巻 26(2)
2. 論文標題 Effect of long-term classical ballet dance training on post-activation depression of the soleus H-reflex	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Motor Control	6. 最初と最後の頁 169-180
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1123/mc.2021-0079. Epub 2022 Jan 5.	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 Hikaru Yokoyama, Naotsugu Kaneko, Yohei Masugi, Tetsuya Ogawa, Katsumi Watanabe, Kimitaka Nakazawa	4. 巻 -
2. 論文標題 Gait phase dependent and gait phase independent cortical activity across multiple regions involved in voluntary gait modifications in humans	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 European Journal of Neuroscience	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1111/ejn.14867	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 Hiroki Obata, Tetsuya Ogawa, Hikaru Yokoyama, Naotsugu Kaneko, Kimitaka Nakazawa	4. 巻 238
2. 論文標題 Spatiotemporal characteristics of locomotor adaptation of walking with two handheld poles	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Experimental Brain Research	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00221-020-05954-0	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 1GeeHee Kim*, Tetsuya Ogawa*, Hirofumi Sekiguchi, Kimitaka Nakazawa *equally-contributed first authors	4. 巻 8(2)
2. 論文標題 Acquisition and maintenance of motor memory through specific motor practice over the long term as revealed by stretch reflex responses in older ballet dancers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physiological Reports	6. 最初と最後の頁 e14335
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14814/phy2.14335.	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 Hiroki Obata, Tetsuya Ogawa, Kimitaka Nakazawa	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 Unique controlling mechanisms underlying walking with two handheld poles in contrast to those of conventional walking as revealed by split-belt locomotor adaptation.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Experimental Brain Research	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00221-019-05541-y.	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 Hikaru Yokoyama, Naotsugu Kaneko, Tetsuya Ogawa, Noritaka Kawashima, Katsumi Watanabe, Kimitaka Nakazawa	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 Cortical correlates of locomotor muscle synergy activation in humans: an electroencephalographic decoding study.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 iScience	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.isci.2019.04.008.	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5件(うち招待講演 2件/うち国際学会 3件)

1. 発表者名 Nozomi Endo, Tatsuya Kato, Naotsugu Kaneko, Tetsuya Ogawa, Katsumi Watanabe, Kimitaka Nakazawa
2. 発表標題 Modulation of auditory cortical response to self-generated sound by walking during split-belt treadmill adaptation
3. 学会等名 30th Annual Meeting of the Society for the Neural Control of Movement (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小川哲也
2. 発表標題 ノルディックウォークの基本的特性 - 転倒脅威の観点より
3. 学会等名 2021年日本ノルディック・ポール・ウォーク学会学術大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小川哲也
2. 発表標題 ヒトの歩行・走行を構成する『文脈』
3. 学会等名 第29回日本運動生理学会大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 1.Hikaru Yokoyama, Naotsugu Kaneko, Yohei Masugi, Tetsuya Ogawa, Katsumi Watanabe, Kimitaka Nakazawa
2. 発表標題 Unidirectional beta connectivity from motor cortex to muscle is involved in voluntary modification of locomotor muscle activity in humans.
3. 学会等名 International Society for Posture and Gait Research 2019 World Congress（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 2.Hikaru Yokoyama, Naotsugu Kaneko, Yohei Masugi, Tetsuya Ogawa, Katsumi Watanabe, Kimitaka Nakazawa
2. 発表標題 Enhanced unidirectional motor cortex to muscle connectivity in beta band during voluntary gait task in humans.
3. 学会等名 The 47th Annual Meeting of the Society for Neuroscience（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 分担 者	小幡 博基 (OBATA Hiroki) (70455377)	九州工業大学・教養教育院・准教授 (17104)	

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