

平成 30 年 5 月 11 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01507

研究課題名(和文) 無自覚的動機付けの皮質脊髄路興奮性と運動行動に与える持続的効果

研究課題名(英文) Long-term effects of barely conscious reward goal-priming on motor system state and motor action

研究代表者

宝田 雄大 (Takarada, Yudai)

早稲田大学・スポーツ科学学術院・教授

研究者番号：70367093

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：研究目的は、経頭蓋的磁気刺激法(TMS)を用いて、単発一次運動野刺激(M1)の誘発筋電図(MEP)を取得し、内的報酬を伴った運動目標のプライミング(無自覚的動機づけ)が皮質脊髄路興奮性(運動系)と運動に与える一過的・慢性的効果を調べることである。

当初予定になかった瞳孔同時測定ノイズ低減等改善後の実験システムにより、無自覚的動機づけが、運動系のみならず瞳孔関連神経調節系をも一過的に活性化させ、結果的に本人の自覚なく、より素早い、力強い運動を引き起こす事が判明した。瞳孔関連神経調節系関与の可能性は無自覚的動機づけの運動系増強作用機序の観点から意義深く、今後の作用機序解明の一助としたい。

研究成果の概要(英文)：Previous research using TMS has demonstrated that subliminal reward goal-priming can alter the motor system state and enhance the maximal voluntary force level. One possible explanation is that positive stimulus-induced reward signals are processed by the dopaminergic system (DS) in the basal ganglia, motivating individuals to increase the effort they invest in particular behaviors, or to recruit the resources necessary for maintaining those behaviors.

If so, given that the DS has functionally and anatomically close connections with the noradrenergic system (NS), we hypothesize that the NS state may be enhanced by the same process. In accord with this hypothesis, we observed that subliminal reward goal-priming caused pupil dilation, suggesting that the NS activity increased. This is the first objective evidence that the pupil-linked neuromodulatory system is related to implicit learning of the link between physical exertion and reward, resulting in more forceful voluntary motor action.

研究分野：Biological science/Neuroscience/Motivation

キーワード：unconscious will motivation human force exertion motor system pupil dilation implicit learning effort TMS

### 1. 研究開始当初の背景

我々は、日常生活を特に意識することなく過ごしている。実際ヒトは、無意識に行動目標を追求でき<sup>1)</sup>、それを報酬と関連付けることで、高い意欲をもって無自覚的に力強い運動行動を引き起こす<sup>2)</sup>。一方、申請者らも、後催眠前向き暗示の皮質脊髄路興奮性高進をともなった無自覚的な筋力増大に加え<sup>3)</sup>、無自覚的動機づけによる皮質脊髄路興奮性高進をともなった最大随意等尺性筋力(MVC)増大を見出している<sup>4)</sup>。これらは、無意識の(内的)報酬に関わる情報処理が運動皮質神経活動状態を変化させ、人知れず、運動行動に影響を及ぼすことを示している。

その無自覚的動機づけは、先行研究<sup>2)</sup>に従って、見えたと自覚できない(闕下)行動目標と、(内的)報酬を誘発するような前向き、素晴らしい等、形容詞との対呈示により行われる。我々は、この対呈示が、前者を条件刺激(conditioned stimulus, CS; USである餌との対経験を条件として唾液分泌を誘発する)、後者を無条件刺激(unconditioned stimulus, US; 無条件で唾液分泌を引き起こす餌)としたパプロフ型(古典的)条件付けと同じようなパラダイムであり、この闕下運動目標と前向き形容詞との語彙対呈示には学習作用が内在されている可能性があることに気付いた。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、(a)無自覚的動機づけの運動皮質と運動行動に与える潜在学習効果、(b)無自覚的と自覚的動機づけが運動皮質と運動行動に与える影響、(c)それらの中長期的暴露のトレーニング(慢性的)効果を明らかにするために、古典的条件付けを模したパラダイム下で経頭蓋的磁気刺激法(Transcranial Magnetic Stimulation, TMS)の反対側の一次運動野(M1)単発刺激の誘発筋電図(MEP)を取得し、行動目的に付随した(内的)報酬、あるいはその中長期的暴露が皮質脊髄路の興奮性と握力に与える影響を調べることである。

### 3. 研究の方法

(初年度)

9段階尺度を用いた呈示語彙選定、語彙呈示方法を含めた呈示システム確立、語彙呈示中のMI刺激によるMEPの安定的取得法を含めたTMSシステム確立、以上の実験系を用いて、

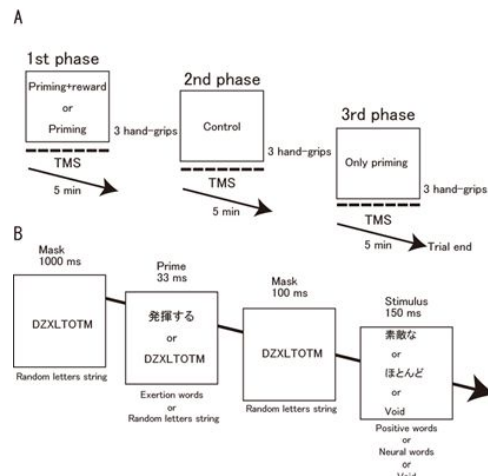
無自覚的動機づけの運動皮質と運動行動に与える潜在学習効果の検証を行う。闕下行



動目標(“努力する”等)に付随された、前向き形容詞(“素晴らしい”等)のTMSによる(FCU)MEPと握力に与える持続的影響を確かめるため、2群、実験(闕下プライミング+報酬)群と対照(闕下プライミング)群、の被験者に対して、3つの局面に分類し実験を進める(下図A)。第一局面の実験群では闕下プライミングの行動目標は、闕上前向き形容詞と常に対呈示され(プライミング+報酬条件)、一方の対象群では闕下プライミングの行動目標と前向き形容詞は呈示されるものの、それらは決して対呈示されない(プライミング条件)。第二局面と第三局面では、両群は同じように、対照条件とテスト条件をおこなう。対照条件では前向き形容詞だけが呈示され、テスト条件では行動目標のみが闕下呈示される。

各条件は、1000ms間の(前方)マスクのランダム8文字(例、DZXLTOTM)呈示で開始され、その後、33msの闕下プライミングが呈示される(下図B)。その後、再びランダム文字が100ms間(後方)マスクとして呈示され、闕上の文字が150ms呈示される。

以上の3つの視覚刺激呈示中のTMSの左半球MI刺激によるFCUのMEPを取得し、その振幅などを比較し、皮質脊髄路の興奮性を調べる。また各局面での視覚刺激呈示後、両群同じように、5秒間の握力発揮を6秒間の休



息後3回行い、運動行動への影響を調べる。(次年度以後)

無自覚的と自覚的動機づけが運動皮質と運動行動に与える影響の検証: で用いた実験方法を用いるが、との違いは報酬と組み合わせる手がかり(プライミング)語を闕下ではなく、闕上対呈示する。これにより、動機づけにおける認知過程の意識の有無が運動皮質と運動行動に与える影響を検証し、動機付けにおける無自覚的認知過程と自覚的認知過程との質的差異の検討を試みる。

無自覚的動機づけの中長期的暴露のトレーニング効果の検証: 実験(闕下プライミング+報酬)群と対照(闕下プライミング)群に対して、で用いたプライミング手続きのうち、第一局面のみを、約4週間、3回/週

の頻度で実施した後、行動目標のみの閾下呈示(テスト条件)中の皮質脊髄路興奮性と MVC に与える影響を調べる。

#### 4. 研究成果

初年度には、9段階尺度を用いた呈示語彙選定、語彙呈示方法を含めた呈示システム確立、語彙呈示中の MI 刺激による MEP の安定的取得法を含めた TMS システム確立を行った。

一方、そもそも無自覚的動機づけの運動増強作用に関連した、無意識の脳内処理と随意運動時の動機づけには大脳基底核、視床等の皮質下領域<sup>5-7)</sup>や皮質運動関連領域(運動前野、補足運動野)<sup>8)</sup>に加え、ヒト大脳皮質で特に発達した前帯状回皮質(ACC)<sup>8)</sup>や背外側前頭前野<sup>9,10)</sup>の高次脳領域の関与が分かっている。

また動機づけに関連したドパミンシステムは機能的にノルアドレナリンシステムと関係が深い。たとえば、ノルアドレナリンとドパミンは同時に前頭葉に放出され、共に認知機能を仲立ちするようなネットワーク活動を調節する<sup>11)</sup>。ノルアドレナリンの唯一の供給源は脳幹の青斑核(LC)である。青斑核活動は、(腹側淡蒼球へ投射している)側坐核(NAc)に投射している腹側被蓋野(VTA)内神経細胞のみならず、腹側被蓋野に間接的に投射している前頭葉神経細胞にも影響を与えている。したがって、青斑核活動はノルアドレナリンとドパミンシステム間の相互作用と両者の前頭葉との結合を強化する<sup>11)</sup>。この両者の密接な機能的且つ解剖的關係に基づき、ノルアドレナリンを含む瞳孔関連神経調節システムもドパミンシステムと同様に、これまでの無自覚的動機づけによりその活動が高進されるとの仮説はもっともらしい。

そこで、この仮説を念頭に、無自覚的動機づけの運動皮質と運動行動に与える潜在学習効果を検証(a)の予備実験(図Aの第一局面のみ)を上述の測定項目に、青斑核神経活動を相関が高い<sup>12,13)</sup>(研究計画当初予定していなかった)瞳孔測定を加え実施した。その結果、無自覚的動機づけは運動系<sup>4)</sup>のみならず、瞳孔神経調節系をも活性化させ(Fig. 1)、結果的に運動行動(Fig. 2)を増強させることが明らかとなった<sup>14)</sup>。この事実は、上述したように、無自覚的動機づけの運動系の増強の作用機序の観点から意義深い、その一方で、青斑核のノルアドレナリン作動性神経活動だけが瞳孔拡張に影響しているか否か(PGi 或は上丘の影響の可能性含め)は今後の研究成果を待たなければならない。

当初予期していなかった瞳孔測定による上述の仮説検証に取り組んだため、本研究課題申請時における当初の研究目的のうち、無自覚的動機づけの運動皮質と運動行動に与える潜在学習効果の検証、無自覚的と自覚的動機づけが運動皮質と運動行動に与える影響の検証、無自覚的動機づけの中

長期的暴露のトレーニング効果の検証が行えなかった。これらについては、無自覚的動機づけの運動皮質活性化の作用機序解明を念頭に、今後の優先課題として取り組むべきか否かを含め再検討する予定である。

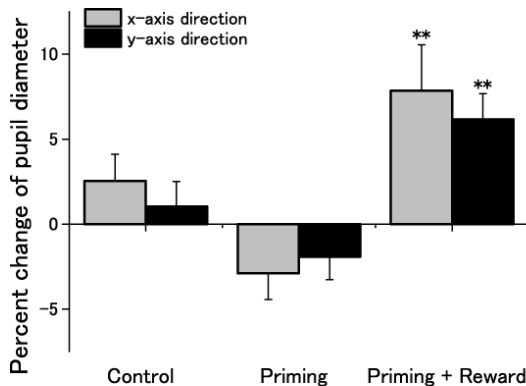


Figure 1. Effects of barely conscious goal pursuit on pupil size. Pupil size was measured by diameter in the x- and y-axis directions for the three experimental groups. Data are expressed as a percentage of values in the control condition as a control baseline set (mean  $\pm$  SE). Significantly different to the control condition (\* $p$  < 0.05).

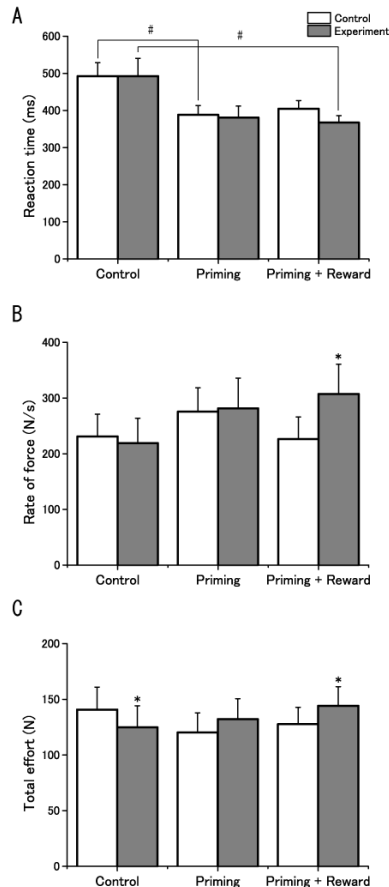


Figure 2. Effect of unconscious goal pursuit on motor action. A, B, C: Reaction time (A), Rate of force (B), and Total effort (C) for the three conditions. Data are expressed as mean  $\pm$  SEM. \* indicates statistically significant differences at  $p$  < 0.05 compared with the control condition in the control baseline test). # indicates statistically significant differences at  $p$  < 0.05 compared with control group.

< 引用文献 >

- 1) Bargh JA, et al., J Pers Soc Psychol 81: 1014-1027, 2001.
- 2) Aarts A, et al., Science 319: 1639, 2008.
- 3) Takarada Y., Nozaki D., Neuroscience Research, 85: 28-32, 2014.
- 4) Takarada Y., Nozaki D., PLoS ONE 9:e109422, 2014.
- 5) Aron AR, et al., Brain 126: 713-723, 2003.
- 6) Custers, R., Aarts, H., J. Pers. Soc. Psychol. 89, 129-142, 2005.
- 7) Pessiglione, et al., Science 316: 904-906, 2007.
- 8) D' Ostillio K, Garraux G., Eur J Neurosci 35: 332-340, 2012.
- 9) Lau HC, Passingham RE., J Neurosci 27: 5805-5811, 2007.
- 10) Van Gaal S, et al., J Neurosci 30: 4143-4150, 2010.
- 11) Sara, SJ. Nat Rev Neurosci. 10: 211-223, 2009.
- 12) Joshi, S., et al. Neuron. 89: 221-234, 2016.
- 13) Reimer, J., et al. Nat. Commun. 7:13289. doi: 10.1038/ncomms13289, 2016.
- 14) Takarada, Y., Nozaki, D. Neuropsychologia, 103: 69-76, 2017.

#### 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 1件)

Takarada, Y., Nozaki, D. Neuropsychologia, 103: 69-76, 2017.

Full-text available:

[https://www.researchgate.net/publication/318533677\\_Pupil\\_dilations\\_induced\\_by\\_barely\\_conscious\\_reward\\_goal-priming](https://www.researchgate.net/publication/318533677_Pupil_dilations_induced_by_barely_conscious_reward_goal-priming)

JournalHP

Neuropsychologia:

<https://ees.elsevier.com/nsy/default.asp?acw=b2c9ee6875bda1430f080b90c37302c339b2gxrqa%7C%24%7CA4FD45E0E9D967EA971B893C0E92CF5D55ACDBD69EB8C515D0C4E97C4003DFE701D5BA63C0A773BDAE17B963C4D76B6CA5FACDF17D94C9283FBA44D1BD4E4F2EB0469A67597464825D387A21AFA2E514&utt=dd04-619acfb2616484c5f4-5e16ec1a0e1542ed-p>

〔学会発表〕(計 件)

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 件)

名称:

発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

取得状況(計 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年月日:  
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

Researchgate:

[https://www.researchgate.net/profile/Yudai\\_Takarada/contributions?ev=prf\\_act](https://www.researchgate.net/profile/Yudai_Takarada/contributions?ev=prf_act)

Google scholar:

<https://scholar.google.co.jp/citations?user=8JwZqCIAAAAJ&hl=ja>

Waseda University:

<http://researchers.waseda.jp/profile/en.2a4c95e8182a613cb97bfd1b7340fab.html>

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

宝田雄大 (Takarada, Yudai)

早稲田大学スポーツ科学学術院・教授

研究者番号: 70367093

##### (2) 研究分担者

( )

研究者番号:

##### (3) 連携研究者

野崎大地 (Nozaki, Daichi)

東京大学大学院教育学研究科・教授

研究者番号: 70360683

##### (4) 研究協力者

( )