

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 5月10日現在

機関番号：13401  
 研究種目：若手研究（B）  
 研究期間：2011～2012  
 課題番号：23700761  
 研究課題名（和文） 心的動揺に対する運動制御機構—脊髄反射回路の解明と非侵襲的脳刺激の導入—  
 研究課題名（英文） Motor control mechanisms for psychological perturbation: Elucidation of spinal reflex network and introduction of non-invasive brain stimulation  
 研究代表者  
 田中 美吏（TANAKA YOSHIFUMI）  
 福井大学・教育地域科学部・講師  
 研究者番号：70548445

研究成果の概要（和文）：運動課題を行う際の心的動揺が脊髄反射に及ぼす影響を調べる2つの実験に取り組んだ。快感情や不快感情によって脊髄反射が促進されることや、心理的プレッシャーによって脊髄反射が抑制されることが示された。さらに、経頭蓋直流電気刺激による大脳の一次運動野の興奮性調節が急速運動課題に及ぼす影響を調べる2つの実験に取り組んだ。運動野の興奮性促進刺激による反応時間や運動時間の短縮が示され、運動技能の向上が非侵襲的脳刺激によって導かれる可能性が言及された。

研究成果の概要（英文）：Two experiments were conducted to investigate the influence of psychological perturbations on spinal reflexes during motor task execution. Facilitation of spinal reflexes by pleasant and unpleasant emotion and inhibition of spinal reflexes under psychological pressure were shown. Furthermore, two experiments were performed to investigate the effect of changes in motor cortex excitability by transcranial direct current stimulation on a quick motor response. Shorten reaction and movement times by anodal stimulation were observed, suggesting that facilitation of motor cortex excitability by using non-invasive brain stimulation could improve motor skills.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康スポーツ科学・スポーツ科学

キーワード：スポーツ心理学，感情，心理的プレッシャー，脊髄反射，経頭蓋電気刺激，姿勢制御，急速反応，運動ニューロン

### 1. 研究開始当初の背景

スポーツにおける重要な試合に代表されるように、我々は、プレッシャーがかかった心的緊張状態において合目的な運動パフォーマンスの発揮を求められる場面に遭遇する。その際、認知レベル、生理レベル、運動の産出レベルで、その困難さを経験するが、この状態は「あがり」現象と呼ばれている。スポーツにおけるプレッシャーや「あがり」に関しては、50年以上も前から国内外で学術研究が進められてきた。そして1990年代以

降はアイカメラ、動作解析、筋電図解析など視覚・運動スキルの解析手法を駆使し、「あがり」現象に内在する運動制御メカニズムを解明する研究が世界中で繰り広げられている。このような背景の中での本研究の推進は、次のような特色や意義を有している。

(1) 脊髄反射回路は、低次中枢における運動制御機構である。心的動揺に対する運動制御機構に関するこれまでの研究では、大脳などの高次レベルでの運動制御に着目した研究が主流であったが、脊髄反射回路という低

次の運動制御機構を取り扱うことで、運動制御機構を広範囲にわたって網羅することが可能になる。仮に、プレッシャーや感情の変化によって脊髄反射機構が影響を受けた場合には、心的動揺が低次レベルの運動制御に影響するという学術的に新たな提言が可能になる。

(2) 心的動揺が生じた中での運動制御の機能変化について、これまでの多くの研究では、運動制御機構に関する詳細な現象記述が行われてきた。今後は、このような運動制御の機能変化を改善するための対処法を開発する研究も同時に進展することが高く望まれている。本研究において非侵襲的脳刺激装置として用いる経頭蓋直流電気刺激 (tDCS) は、簡便かつ、身体的にも安全な手法として、近年、神経生理学分野で注目を集めている手法である。たとえば、脳卒中などによる身体麻痺患者に対するリハビリテーションや、パーキンソン病、ジストニア (書痙) などの神経心理学的な障害を有する患者の運動機能の回復に対して tDCS を用いた研究が行われている。このようにリハビリテーション医学における運動機能回復を目指した研究分野で注目されている手法を、スポーツ科学分野に導入し、応用していくにあたっての基礎研究としての意義を本研究は有している。スポーツ科学分野でも、受傷によるリハビリテーションや、イップスやジストニアなどの神経心理学的な運動障害の改善を求められる選手は非常に多く、その1つのアプローチとして tDCS を導入するにあたっての、運動スキルに対する利点や弊害を本研究では検討する。

## 2. 研究の目的

誘発筋電位 (Hoffman 反射) 測定装置を用いて、運動課題を実施する際の Hoffman 反射の振幅を記録し、プレッシャーによる心的緊張状態や、快感情や不快感情の誘発によって心的動揺が生じた際の筋活動ならびに脊髄反射機構を明らかにすることを本研究の第1の目的とした。

さらに、tDCS を用いて運動課題を実施する直前に脳の一次運動野を刺激し、一次運動野の興奮性の促通や抑制が運動パフォーマンス、筋活動、キネマティクスといった運動スキルに及ぼす影響を明らかにすることを第2の目的とした。

## 3. 研究の方法

第1の目的を調べるために2つの実験に取り組んだ。実験1では、運動課題遂行時の快-不快感情が筋活動や脊髄反射に及ぼす影響を調べることを目的とした。実験2では、運動課題のパフォーマンスに対する心理的プレッシャーが筋活動や脊髄反射に及ぼす影

響を調べることを目的とした。また第2の目的に対しても2つの実験に取り組んだ。以下に各実験の方法を記す。なお、所属研究機関の研究倫理委員会の承認に基づいて全ての実験を行った。

### (実験1)

研究内容や実験参加に対する同意書を得た9名の男子大学生が実験に参加した。実験参加者の眼前に設けたディスプレイ上に International Affective Picture System (IAPS) より抽出した12枚の快感情写真、12枚の不快感情写真、12枚の中性写真をそれぞれ13秒間呈示した。それらの写真を座位にて注視させ、右膝裏の脛骨神経に対してアイソレーターを用いて電気刺激を与えることで、右ヒラメ筋の筋電図 (EMG) より M 波と H 波を記録した。電気刺激は1秒間隔で与え、1枚の写真を注視させている13秒間に10の H 波を記録した。電気刺激の強度は最大 H 波の約50%の振幅の H 波を得られる電圧とした。

なお運動を実施していない安静状態と運動課題を実施している状態の両方の運動神経活動に快-不快感情が及ぼす影響を調べるため、36の写真の半分においては安静座位にて写真を注視させた。一方の半分に関しては、右踵部をできる限り高く上げさせ、右脹脛部の随意最大等尺性筋収縮をさせた状態で写真を注視させた。写真を呈示している最中の右ヒラメ筋と右前脛骨筋の EMG や、心拍数も合わせて記録した。また、質問紙 Self-Assessment Manikin (SAM) を用いて各写真の呈示終了後にその写真に対する主観的快-不快感情度や身体不安度を9件法で回答させた。

### (実験2)

研究内容や実験参加に対する同意書を得た13名の男子大学生が実験に参加した。バランスディスク上において右片足立ちを実施させ、20秒間ディスク上で姿勢を保持することを運動課題とした。20秒間姿勢を保持できた場合を成功試行とし、左足や他の身体部位が床や壁に触れた場合には失敗試行とした。右ヒラメ筋の EMG より M 波と H 波を誘発する方法は実験1と同様とし、20秒間の課題を行っている最中に1秒間隔で18の H 波を記録した。姿勢制御課題遂行中における右ヒラメ筋と右前脛骨筋の EMG や、心拍数も合わせて記録した。

課題に慣れさせるために6試行の練習試行を行わせた後に、非プレッシャーテストとプレッシャーテストを各1試行実施した。各テストを行う順番は、順序効果の影響を除外するために、実験参加者間でカウンターバランスを取った。なお本研究では、課題の成否に

に対する報酬と罰を心理的プレッシャーとして用いた。プレッシャーテストを開始する前に実験参加に対する謝礼として1,000円を実験参加者に渡した。そして、プレッシャーテストにおいて20秒間の姿勢保持に成功した場合にはさらに1,000円の謝礼が渡され、逆に姿勢保持に失敗した場合には謝礼が0円になることを教示した。罰に関しては、実際に失敗した場合にも減額は無い偽教示であり、実際には2,000円の謝礼を渡した。また各試行の課題を遂行する直前に Visual Analog Scale (VAS) 上に、課題を成功させることに対する緊張度と心的努力度を記入させた。

#### (実験 3)

研究内容や実験参加に対する同意書を得た9名の男子大学生が実験に参加した。座位にて利き足である右足でフットスイッチを押し、ピープ音による警告信号の1.7~2.3秒後に呈示される反応刺激に対して、できる限り早くフットスイッチから足を離し、さらにできる限り早く右足を踏み出すことで30cm前方にあるもう1つのフットスイッチを押す、音刺激による単純反応と踏み出し運動を運動課題とした。

7日以上インターバルを置き、各実験参加者に対して計3回の実験日を設けた。各回においては6試行の練習の後に、24試行のプリテストを実施した。その後、右下肢を支配する一次運動野のホットスポットとして、脳波測定における国際10-20法を参考に Cz の1cm左に1mAの直流電気刺激を20分間与えた。もう一方の電極は右眼上に置いた。計3回の実験日において、陽性刺激(anodal)条件、陰性刺激(cathodal)条件、擬似刺激(sham)条件を設け、各条件の実施順は実験参加者間でカウンターバランスを取った。電気刺激を終えた直後に、6試行の練習を再度設け、24試行のポストテストを実施した。

従属変数として、反応時間(RT)、運動時間(MT)、RTとMTを合わせた合計時間

(Total time)、さらには主動筋である右大腿直筋のEMGを記録することで筋活動出現時間(EMG onset time)、EMG最大振幅、筋活動出現から最大振幅に至るまでの時間

(EMG rise time)、EMG最大振幅/EMG rise timeによって計算されるEMG slopeを算出した。さらに、右足先端に取り付けた反射マーカをサンプリング周波数480Hzで動画撮影し、その映像の動作解析を行うことで、右足の移動距離、最大加速度、最大速度を算出した。

#### (実験 4)

研究内容や実験参加に対する同意書を得た9名の男子大学生が実験に参加した。一次運動野における下肢筋支配領域は脳の深

部に位置するため、その部位の興奮性を高めるためには、強度の高い電気刺激を与える必要性が先行研究において指摘されている。そこで実験4では、より強度の高い電気刺激による一次運動野下肢筋支配領域の興奮性の促進および抑制が運動技能に及ぼす影響を調べるために、プリテストとポストテストの間に与える直流電気刺激の強度を2mAに増大し、刺激時間を10分間に短縮した。運動課題、実験手続き、従属変数は実験3と同様とした。

#### 4. 研究成果

##### (実験 1)

図1には、安静条件ならびに筋収縮条件の快感情写真、不快感情写真、中性写真のそれぞれにおけるH反射の振幅の平均と標準誤差を示した。なお、実験参加者間のデータの変動を小さくするために、各実験参加者における3つの写真条件のH反射振幅の平均と標準偏差を基に各写真条件のH反射振幅をZ値に変換した値が図示されている。

安静条件と筋収縮条件のそれぞれに対して、写真条件(3)の1要因分散分析を行った結果、安静条件においては写真条件の主効果は見られなかったが( $F < 1.0$ )、筋収縮条件においては写真条件の有意に近い主効果( $F(2, 16) = 3.62, p = .051$ )が見られ、多重比較においても中性写真と快感情写真( $p = .058$ )、および中性写真と不快感情写真( $p = .082$ )の間に有意傾向が見られた。つまり、筋活動を生じさせない安静条件においては快・不快感情の変化が脊髄反射に影響しないが、随意最大等尺性筋収縮による運動実施条件に限定的に快感情および不快感情によって脊髄反射が促進されることが示唆された。

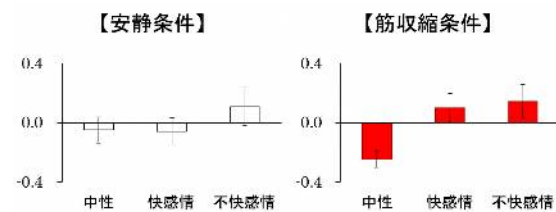


図 1. 写真条件別の H 波の振幅

心拍数に写真条件間の有意差は見られなかったが、快感情条件や不快感情条件における主観的快・不快感情度や身体不安に関しては中性条件に比べて有意差が示されたことから実験操作が心理面に対して有効であったと言える。ヒラメ筋や前脛骨筋のEMG振幅にも写真条件間の有意差は見られず、このことは快感情条件や不快感情条件におけるH反射の促進は $\alpha$ 運動神経活動の亢進や拮抗筋の相反抑制に依存したものではないこ

とを示している。

(実験 2)

図 2 には、電気刺激によって導出された M 波と H 波のサンプル波形として、ある 1 名の実験参加者の非プレッシャーテストとプレッシャーテストの各試行における 18 波形の加算平均波形を示した。全実験参加者の平均に対して  $t$  検定を行った結果、M 波の振幅においてはテスト間の有意差は見られなかったが ( $t < 1.0$ ) (図 3 の左上), H 波の振幅においては非プレッシャーテストからプレッシャーテストにかけて有意な減少が認められた ( $t(12) = 2.31, p = .040$ ) (図 3 の右上). bEMG においては、ヒラメ筋 ( $t < 1.0$ ) (図 3 の左下) と前脛骨筋 ( $t(12) = 1.09, p = .298$ ) (図 3 の右下) の両方においてテスト間の有意差は見られなかった。本実験では、姿勢制御課題遂行中においてプレッシャーによって脊髄反射が抑制されることが明らかとなった。



図 2. 各テストにおける M 波と H 波の加算平均波形 (n=1)

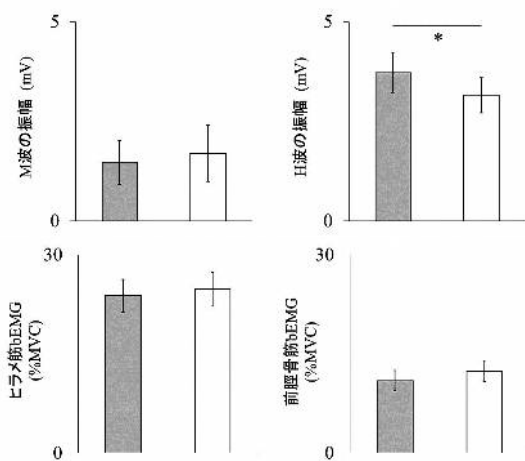


図 3. テスト別の M 波と H 波の振幅ならびにヒラメ筋と前脛骨筋の bEMG (グレーが非プレッシャーテスト, 白がプレッシャーテスト)

さらに、プレッシャーテストにおける前脛骨筋の EMG 振幅も非プレッシャーテストに比べて有意に大きく ( $t(12) = 2.61, p = .023$ ), それによってヒラメ筋と前脛骨筋間の共収縮率もプレッシャーテストでは有意に大き

かった ( $t(12) = 3.45, p = .005$ ). この結果により、プレッシャー下における脊髄反射の抑制に相反抑制機構やシナプス前抑制機構が関与している可能性が示唆された。

課題成功に対する主観的緊張度 ( $t(12) = 4.24, p = .001$ ), 心的努力度 ( $t(12) = 2.96, p = .012$ ), 心拍数 ( $t(12) = 4.57, p = .001$ ) の全てにおいてプレッシャーテストでは非プレッシャーテストに比べて値が有意に大きく、これらの結果は本実験におけるプレッシャーの操作が有効であり、実験参加者の心理面と生理面の両方に対してストレスを喚起することに成功したことを示している。

(実験 3)

図 4 には各刺激条件における RT と MT のプリテストからポストテストにかけての変化量の平均と標準誤差を示した。RT ( $F < 1.0$ ) および MT ( $F(2, 16) = 2.36, p = .126$ ) の両方において条件間の主効果は示されなかったが、MT の多重比較において有意ではないが anodal 条件は cathodal 条件に比べて変化量が小さかった ( $p = .110$ ). EMG およびキネマティクスに関するその他の従属変数においても条件間の有意な主効果は示されなかった。これらの結果から MT に関しては、一次運動野への陽性電気刺激によって時間が短縮することや、陰性電気刺激によって時間が増大する可能性が僅かながら示唆されたが、利き足の単純反応や踏み出し運動に対して 1mA の強度の直流電気刺激による影響は少なかったと言える。

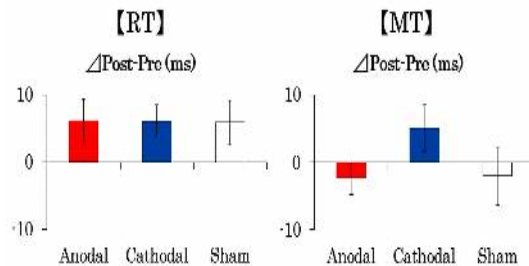


図 4. 電気刺激条件別の RT と MT

(実験 4)

図 5 には各刺激条件における RT と MT のプリテストからポストテストにかけての変化量の平均と標準誤差を示した。RT には条件間の主効果が示され ( $F(2, 16) = 4.26, p = .033$ ), MT には主効果傾向が示された ( $F(2, 16) = 2.78, p = .097$ ). 多重比較によれば、anodal 条件の RT の変化量が sham 条件に比べて有意ではないが小さい傾向にあり ( $p = .103$ ), anodal 条件の MT の変化量も cathodal 条件に比べて小さい傾向にあった ( $p = .087$ ). これらの結果より Total time



にも関係も条件間の主効果が認められ ( $F(2, 16) = 4.89, p = .033$ ), 多重比較の結果, anodal 条件は cathodal 条件 ( $p = .102$ ) と sham 条件 ( $p = .133$ ) に比べて有意ではないが小さい傾向にあった. EMG およびキネマティクスに関するその他の従属変数においては条件間の有意な主効果が示されなかった. これらの結果から, 強度の高い 2mA の直流電気刺激によって一次運動野の興奮性を促通した場合には, RT や MT が短縮することで利き足の急速反応の運動パフォーマンスが向上する可能性が示唆された.

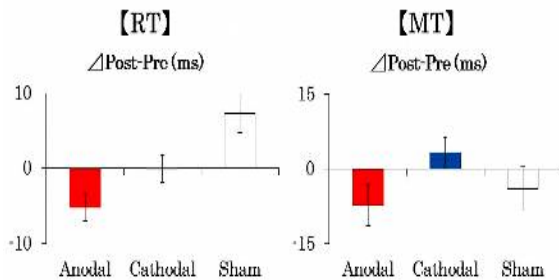


図 5. 電気刺激条件別の RT と MT

## 5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 2 件)

- ① Tanaka, Y., Tanaka, A., & Tanaka, Y.M. Effects of emotional stimuli and psychological pressure on spinal Hoffmann reflex amplitude. 2012 North American Society for the Psychology of Sport and Physical Activity Conference, Waikiki Beach Marriott Resort & Spa, Hawaii (USA), 2012 年 6 月 8 日.
- ② 田中美吏 快-不快感情が脊髄反射回路と筋活動に及ぼす影響. 平成 23 年度第 2 回関西体育心理例会, 大阪, 2011 年 12 月 17 日.

[その他]

ホームページ等

<http://www.f-edu.u-fukui.ac.jp/~y-tanaka/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

田中 美吏 (TANAKA YOSHIFUMI)

福井大学・教育地域科学部・講師

研究者番号: 70548445

### (2) 研究協力者

霜 辰徳 (SHIMO TATSUNORI)

福井大学・教育学研究科・大学院生

宇田峻也 (UDA SHUNYA)

福井大学・教育学研究科・大学院生