

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 21 日現在

機関番号：34517

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25750290

研究課題名(和文) 心的動揺に対する運動制御機構 姿勢制御機能と皮質脊髄路の興奮性の精緻な解明

研究課題名(英文) Motor control mechanisms for psychological perturbation: Detailed elucidation of corticospinal excitability and postural control function

研究代表者

田中 美吏 (Tanaka, Yoshifumi)

武庫川女子大学・健康・スポーツ科学部・講師

研究者番号：70548445

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)：運動パフォーマンスは良くも悪くも、心理的プレッシャーや感情の変化などの心理的要因の影響を受ける。本研究では心理的プレッシャーや快・不快感情を誘発する4つの実験を行うことで、それら心的動揺のなかで運動課題を実施するときの皮質脊髄路の興奮性、脊髄反射、筋活動、姿勢制御機能、ならびにパフォーマンス結果を調べた。主要な結果として、心理的プレッシャー下における皮質脊髄路の興奮性増大は、脊髄反射の亢進には依存しないことや、心理的プレッシャー下では身体を硬直させる運動方略の採用し、それに伴う姿勢制御の変化が生じることが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：Psychological factors, such as pressure and emotion, can have both facilitation (“clutch”) and detrimental (“choking”) effects on motor performance. In this study, corticospinal excitability, spinal reflexes, postural control function, and performance outcomes were investigated through four experiments when performing some motor tasks under situations of induced-psychological pressure, pleasant emotion, and unpleasant emotion. The main results indicated that corticospinal excitability under pressure is dependent upon cortical activity that is particularly localized at the primary motor area, and is independent from spinal reflex excitability. In addition, it was demonstrated that postural control under pressure could have been modified by movement strategies that enhance muscle and joint stiffness of lower limbs.

研究分野：スポーツ心理学、運動の制御と学習

キーワード：心理的プレッシャー 感情 IAPS 皮質脊髄路の興奮性 脊髄反射 筋活動 姿勢制御 TMS

1. 研究開始当初の背景

スポーツの試合場面における心理的プレッシャーの克服は、多くのスポーツ選手が抱える共通の悩みである。この問題に対し、50年以上も前から国内外で多くの研究が行われてきたが、その主流は性格、感情、注意などの心理的要因や、覚醒水準などの生理的要因と運動パフォーマンスの関係の検討であった。しかし近年においては、プレッシャー下における運動制御機構を調べる研究も国内外で行われ始めており、私のこれまでの研究もその一旦を担ってきた。

そのようななか本研究では、プレッシャー下における運動制御機能を調べた先行研究にはない新たな視点や細かな解析を加えた研究を実施することで、プレッシャー下における運動制御機構について、これまでにない精緻かつ包括な理解を図ることを狙いとした。特に本研究では、新たな視点として姿勢制御機能に着目し、さらには皮質脊髄路の興奮性に対して皮質レベル(高次)と脊髄レベル(低次)を独立させた細かな測定を行った。さらに皮質脊髄路の興奮性については、プレッシャーとは異なる心理的要因として快-不快感情との関係を調べる研究も同時並行に実施した。それにより、プレッシャーによる皮質脊髄路の興奮性変化が快-不快感情の誘発に伴う神経活動と関連するか否かについての考察を可能にした。

2. 研究の目的

【実験 1】利き足による選択反応課題を用いて、心理的プレッシャーが皮質脊髄路の興奮性、脊髄反射、筋活動、ならびに課題パフォーマンスに及ぼす影響を調べることを目的とした。

【実験 2】利き足による選択反応課題を用いて、快-不快感情が皮質脊髄路の興奮性、脊髄反射、筋活動、ならびに課題パフォーマンスに及ぼす影響を調べることを目的とした。

【実験 3】バランスディスク上での片足バランス保持課題を用いて、心理的プレッシャーが筋活動、姿勢制御機能、ならびに課題パフォーマンスに及ぼす影響を調べることを目的とした。

【実験 4】立位姿勢制御時に上肢を利用したフラフープ回しやジャグリング運動を実施させ、心理的プレッシャーが姿勢制御機能、ならびに課題パフォーマンスに及ぼす影響を調べることを目的とした。

なお、実験 1 と実験 2 の結果を比較することで、プレッシャーによる皮質脊髄路や脊髄反射の興奮性変化が快-不快感情の誘発に伴う神経活動と関連するか否かについての考察を行った。さらには実験 3 と実験 4 の結果を比較することで、立位姿勢を維持することをパフォーマンス目標とする運動課題(実験 3)と、他のパフォーマンス目標があるなかで副次的に立位姿勢の制御が求められる運動課題(実験 4)における姿勢制御機能にプ

レッシャーが及ぼす影響の違いを考察した。

3. 研究の方法

所属研究機関の研究倫理委員会の承認を得たうえで実験 1~4 を行った。

【実験 1】

研究内容や実験参加に対して署名による同意を得た 10 名の男子大学生が実験に参加した。利き足検査によって同定された利き足による選択反応課題(Go/No-go 課題)を運動課題に用いた。各試行において実験参加者には、ピープ音による警告信号(Warning Signal: WS)の 2 秒後に呈示した反応信号(Reaction Signal: RS)に対して、利き足の踵を出来る限り早く上げることで、踵で踏んでいるフットスイッチを on から off の状態にすることを求めた(Go 課題)。半数の試行においては予測反応を防ぐために RS を呈示しないようにし、その試行ではフットスイッチを踏んでいる踵を上げないように教示した(No-go 課題)。

表面筋電図法を用いて利き足のヒラメ筋(SOL)と前脛骨筋(TA)の筋放電活動を記録した。経頭蓋磁気刺激装置(TMS)による運動誘発電位(MEP)の記録は、110mm ダブルコンコイルを用いて単発磁気刺激を与えることで誘発した。利き足の下肢筋支配運動野(Cz 周辺)に位置するホットスポットを特定し、SOL と TA の両筋電図から MEP を記録できる刺激強度に設定し、WS と RS 間の運動準備時(WS の 1 秒後、RS の 1 秒前)に磁気刺激を与えることで MEP を記録した。

脊髄反射は、利き足膝裏の脛骨神経に電気刺激(刺激時間 1ms の矩形波刺激)を与え、利き足ヒラメ筋の筋電図上から H 波(Hoffmann reflex waveform)を誘発し、最大 H 波の約 50%の振幅となる電気刺激強度で誘発した。加えて Go 課題時の反応時間(Reaction Time: RT)、SOL と TA の最大筋放電量、ならびに SOL(主動筋)と TA(拮抗筋)間の共収縮率も算出した。心理的プレッシャーによる心身のストレス反応を測定するために、心拍数、ならびに視覚的アナログ尺度(Visual Analog Scale: VAS)を使用し、主観的緊張度や課題遂行に対する心的努力度を測定した。

各実験参加者に対し、20 試行(1 ブロック 10 試行×2 ブロック)の練習試行の後に、20 試行の非プレッシャー条件(1 ブロック 10 試行×2 ブロック)と 20 試行のプレッシャー条件(1 ブロック 10 試行×2 ブロック)を行わせた。各ブロックはランダム化した 5 試行の Go 課題と 5 試行の No-go 課題で構成し、TMS を用いて MEP を記録するブロックと電気刺激を与えて H 波を記録するブロックも別とした。非プレッシャー条件とプレッシャー条件を行う順も、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。プレッシャー条件では Go 課題

の反応時間に伴う賞金と罰（1,000 円の実験参加報酬が反応時間次第で 2,000 円に増額されることもあれば 0 円に減額されることもあるという偽教示：実際には全ての実験参加者に実験参加時間に応じた謝金を支払い、実験終了後に実験内容や偽教示に関するディブリーフィングを行った）を用いることで心理的プレッシャーを負荷した。各従属変数に対して対応のある t 検定を行うことで、非プレッシャー条件とプレッシャー条件の平均値の差を比較した。統計解析における有意水準は危険率 5%未満に設定した。

【実験 2】

研究内容や実験参加に対して署名による同意を得た 10 名の男子大学生が実験に参加した。運動課題として用いた利き足による選択反応課題（Go/No-go 課題）は実験 1 と同様であり、運動誘発電位（MEP）、H 波、ヒラメ筋（SOL）と前脛骨筋（TA）の筋放電、心拍数、ならびに反応時間（RT）の測定方法も実験 1 と同様であった。なお、快-不快感情を誘発するために使用した International Affective Picture System（IAPS）の呈示による主観的快-不快感情度や身体不安度を測定するために、質問紙 Self-Assessment Manikin（SAM）を各試行終了後に回答させた。

快および不快感情を誘発させたなかで運動課題を実施させるために、実験参加者の眼前に設けたディスプレイ上に IAPS より抽出した快感情写真、不快感情写真、もしくは中性写真のいずれかを 10 秒間呈示し、その後ピーブ音の警告刺激（WS）と反応刺激（RS）を呈示することで課題を遂行させた。各実験参加者に対し、36 試行（1 ブロック 18 試行×2 ブロック）の練習試行（練習試行では写真呈示は行わずに、ディスプレイ上の黒点を見ながら課題を遂行）の後に、18 試行の H 波記録条件と 18 試行の MEP 記録条件を行わせた。各ブロックはランダム化した 9 試行の Go 課題と 9 試行の No-go 課題で構成した。9 試行の Go 課題と No-go 課題は、ランダム化した快感情写真 3 試行、不快感情写真 3 試行、ならびに中性写真 3 試行で構成した。H 波記録条件と MEP 記録条件を行う順は、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とった。各従属変数に対して対応のある 1 要因分散分析（3 水準）を行うことで、快感情写真条件、不快感情写真条件、ならびに中性写真条件の平均値の差を比較した。統計解析における有意水準は危険率 5%未満に設定した。

【実験 3】

研究内容や実験参加に対して署名による同意を得た 18 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、利き足検査によって判別された利き足で片足立ちを実施させ、30 秒間ディスク上に片足のみで立

ち続ける姿勢保持課題を運動課題に用いた。表面筋電図法を用いて、姿勢保持課題遂行中における利き足のヒラメ筋（SOL）と前脛骨筋（TA）の筋放電活動を記録した。さらに重心動揺計を用いて、姿勢保持課題遂行中の足圧中心（COP）も記録し、課題遂行中の COP 位置データを基に、左右方向の標準偏差（前額面上での重心動揺の大きさ）、前後方向の標準偏差（矢状面上での重心動揺の大きさ）、ならびに外周面積（左右前後の両方向を含む二次元上での重心動揺の大きさ）を求めた。心拍数や視覚的アナログ尺度（VAS）を用いたストレス反応の測定方法は実験 1 と同様であった。

各実験参加者に対し、3 試行連続で成功するまで練習をさせ、その後非プレッシャー条件とプレッシャー条件を各 2 試行実施させた。両条件を行う順は、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。プレッシャー条件では、課題に成功した場合には実験参加謝礼の 1,000 円が最大で 2,000 円に増額になり、逆に失敗した場合には最大で 0 円まで減額になることを教示した（この教示は偽教示であり、このことを実験終了後にディブリーフィングしたうえで、全実験参加者に実験参加時間に応じた謝金を支払った）。各従属変数に対して対応のある t 検定を行うことで、非プレッシャー条件とプレッシャー条件の平均値の差を比較した。統計解析における有意水準は危険率 5%未満に設定した。

【実験 4】

研究内容や実験参加に対して署名による同意を得た 10 名の大学生（男性 5 名、女性 5 名）が実験に参加した。重心動揺計の上で新体操のパスセバランス（一方の足を反対脚の膝に固定しながら軸足となる片足で立つ；利き足検査によって判別された利き足を軸足とした）を行いながら、上肢課題としてフラフープを片手で 30 秒間に 60 回以上回すことを第 1 の運動課題とした（上肢低難易度課題）。第 2 の運動課題では、パスセバランスを行いながら、両手でお手玉 2 つによるジャグリングを行わせ、30 秒内に 30 回以上投じることが求めた（上肢高難易度課題）。COP の記録による重心動揺の測定方法、ならびに心拍数や視覚的アナログ尺度（VAS）を用いたストレス反応の測定方法は実験 1 および実験 3 と同様であった。

各実験参加者に対し、両課題において 1 試行成功させるまでを練習試行とし、その後非プレッシャー条件とプレッシャー条件で課題を行わせた。両条件において、2 試行成功させるまで各課題を継続させた。両条件を行う順は、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。プレッシャー条件では、面識のない 3 名の観衆の前で課題を行わせるとともに、その様子をビデオ撮影した。各従属変数に対して

対応のある t 検定を行うことで、非プレッシャー条件とプレッシャー条件の平均値の差を比較した。統計解析における有意水準は危険率 5%未満に設定した。

4. 研究成果

【実験 1】

非プレッシャー条件からプレッシャー条件にかけて心拍数、主観的緊張度、心的努力度の全てが有意に増加した。したがって、本研究で用いた報酬と罰の心理的プレッシャーによるストレス操作が有効であった。

運動誘発電位 (MEP) に関しては、拮抗筋である前脛骨筋 (TA) において非プレッシャー条件からプレッシャー条件にかけての有意な振幅増加が認められた。主動筋であるヒラメ筋 (SOL) の MEP や H 波に関しては非プレッシャー条件とプレッシャー条件間の有意差は見られなかった。

Go 課題における TA の筋放電最大振幅に条件間の有意差は見られなかったが、SOL の筋放電最大振幅、ならびに SOL と TA の共収縮率においては非プレッシャー条件からプレッシャー条件にかけての有意な増加が認められた。反応時間においては、条件間の有意差は見られなかった。

以上の結果から、心理的プレッシャーによる皮質脊髄路の興奮性増加は、低次中枢と呼ばれる脊髄レベルでの反射による運動神経活動の亢進には依存しないことが示された。このことから、大脳を中心とした上位中枢における神経活動の修飾に依存していることが示唆され、プレッシャー下における注意や感情の変化に伴う脳活動が皮質脊髄路の興奮性を導く可能性が推察された。

さらに、プレッシャー下においては主動筋であるヒラメ筋の筋放電量や、ヒラメ筋と拮抗筋である前脛骨筋間との共収縮率が増加した。複数の先行研究では、プレッシャーによって上肢運動における上肢筋の筋活動や共収縮が増加することが示されており、下肢筋においても同様なことが生じることが本研究の結果から明らかとなった。また、プレッシャー下ではこのような中枢神経活動や筋活動の変化が生じる中で、課題パフォーマンスの指標である反応時間に変化は見られなかった。運動出力に伴う神経活動の大小によって算出する運動のエネルギー効率から考えると、プレッシャー下ではエネルギー効率の悪い運動が生じることが示唆された。

【実験 2】

SAM を用いて測定した主観的快-不快感情度において写真条件の主効果が認められ、快感情写真条件は中性写真条件と不快感情写真条件に比べて有意に快感情度が高く、中性写真条件も不快感情写真条件に比べて快感情度が有意に高かった。身体不安度にも写真条件の主効果が認められ、快感情写真条件と不快感情写真条件は中性写真条件に比べて

有意に身体不安が大きかった。心拍数に写真条件の主効果は見られなかったことから、快感情と不快感情を誘発する写真刺激の効果は心理面に対して特に有効であった。

このように心理面に対する感情操作が有効であったにも関わらず、運動誘発電位 (MEP)、H 波、ヒラメ筋 (SOL) と前脛骨筋 (TA) の筋放電最大振幅、ならびに反応時間 (RT) に写真条件の主効果は見られなかった。これらの結果から、IAPS を用いて快感情や不快感情が誘発されたにも関わらず、利き足による選択反応課題における中枢神経活動、筋活動、および課題パフォーマンスは感情の変化の影響を受けなかったといえる。

さらに、実験 1 の結果と照合すると、選択反応課題における中枢神経活動や筋活動は、快-不快感情に対してよりも、心理的プレッシャーに対する方が、感度が高いことが示唆された。さらに、プレッシャー下における中枢神経活動や筋活動の亢進は、感情を司る中枢神経活動の影響によるものではなく、認知や注意を司る中枢神経活動による修飾の影響が強いことが推察された。

【実験 3】

実験 1 と同様に、非プレッシャー条件からプレッシャー条件にかけて心拍数、主観的緊張度、心的努力度の全てが有意に増加した。したがって、本研究で用いた報酬と罰の心理的プレッシャーによるストレス操作が有効であった。

姿勢保持課題遂行中のヒラメ筋 EMG 振幅に関しては、プレッシャーによる有意な増加が認められたが、前脛骨筋に関しては有意差が見られなかった。前脛骨筋とヒラメ筋間の共収縮率においても、プレッシャーによる有意な増加が認められた。COP の外周面積においては、プレッシャーによる有意な減少が認められたが、左右方向の標準偏差、前後方向の標準偏差に有意差は見られなかった。30 秒間の片足立ち課題の成功率は、非プレッシャー条件では 94.74% (36 / 38 試行)、プレッシャー条件では 100.00% (36 / 36 試行) であり、条件間の差は見られなかった。

立位姿勢制御において、ヒラメ筋などの下腿の後面の筋は姿勢の保持に関わり、前脛骨筋などの前面の筋は姿勢の修正に関わることから、プレッシャーの影響は姿勢保持に関わる筋の活動に顕著であったと考えられる。また、プレッシャー条件では重心動揺の範囲が縮小したが、筋活動の変化も含む姿勢制御のこれらの機能変化には、注意の内的焦点化、不安などの感情状態、さらには下肢の筋や関節のスティッフネスを高めるための運動方略が関与していると考えられる。

【実験 4】

パッセバランスとともに両手でジャグリングを行わせた課題 (上肢高難易度課題) においてのみ、非プレッシャー条件からプレッ

シャー条件にかけて主観的緊張度と心的努力度が有意に増加した。この課題遂行時の心拍数に条件間の有意差は見られなかった。パッセバランスとともにフラフープ回しを行う課題（上肢低難易度課題）においても、心拍数、主観的緊張度、ならびに心的努力度の条件間の有意差は見られなかった。したがって、上肢高難易度課題に限定的に、実験参加者の心理面に対してストレスを喚起することに成功したといえる。

以上のようなプレッシャー条件における心理および生理状態のなかで、パッセバランスの重心動揺に関しても、左右方向の標準偏差、前後方向の標準偏差、および外周面積の全てにおいて条件間の有意差は見られなかった。上肢課題のパフォーマンス指標である、1 試行 30 秒間におけるフラフープ回しの回数や、ジャグリングの投数も条件間の有意差は見られなかった。

これらの結果から、本実験のプレッシャー条件において誘発されたストレス強度が小さかったという問題は残すものの、上肢課題を行いながらの姿勢保持課題における姿勢制御機能は、心理的プレッシャーの影響を受けない可能性が示唆された。実験 3 の結果と照合したうえで考えると、プレッシャーが姿勢制御機能に及ぼす影響は、立位姿勢を維持することをパフォーマンス目標とする運動課題（実験 3）において顕著であり、他のパフォーマンス目標があるなかで副次的に立位姿勢の制御が求められる運動課題（実験 4）に対しては影響が少ない可能性が示唆された。プレッシャー下でも上肢課題に対して注意が向くことで、実験 3 の結果を基に考察したような姿勢保持課題に対する注意の内的焦点化や、下肢の筋や関節のスティッフネスを高めるための運動方略が生じなかったために姿勢制御機能が影響を受けなかったと推察される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

田中美吏・霜 辰徳・野坂祐介 (印刷中) 心理的プレッシャー下における不安定場での立位姿勢制御：下肢筋活動と足圧中心からの評価. 体育学研究.

Tanaka, Y. (2015) Spinal reflexes during postural control under psychological pressure. *Motor Control*, 19, 242-249. doi: 10.1123/mc2013-0104

Tanaka, Y., Funase, K., Sekiya, H., Sasaki, J., & Tanaka, Y.M. (2014) Psychological pressure facilitates corticospinal excitability: Motor preparation processes and EMG activity in a choice reaction task. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 12, 287-301. doi: 10.1080/1612197X.2014.916336

田中美吏 (2014) 心理的プレッシャー下に

おけるゴルフパッティング：症状と対処に関する実験研究. 体育学研究, 59, 1-15.

〔学会発表〕(計 8 件)

田中美吏 心理的プレッシャーとスポーツパフォーマンス—運動制御からの理解—. 第 66 回日本体育学会体育心理学領域キーノートレクチャー, 2015 年 8 月 27 日, 国土館大学 (東京都世田谷区).

Tanaka, Y. & Shimo, T. Increased corticospinal excitability and muscular activity in a lower limb reaction task under psychological pressure. 2015 North American Society for the Psychology of Sport and Physical Activity Conference, 2015 年 6 月 4 日, Portland, USA.

田中美吏 心理的プレッシャー下における運動制御機能—姿勢制御や対処法の研究—. 平成 27 年度第 1 回関西体育心理例会, 2015 年 5 月 30 日, 近畿大学 (大阪府大阪市).

田中美吏・霜 辰徳・野坂祐介・島谷康司・関屋昂樹 心的動揺に対する姿勢制御機能. 第 23 回運動学習研究会, 2015 年 3 月 2 日, 琉球大学 (沖縄県中頭郡西原町).

田中美吏・霜 辰徳 心理的プレッシャー下における中枢及び末梢の運動制御機能—下肢による反応課題時の皮質脊髄路の興奮性と筋活動の増大—. 日本体育学会第 65 回大会, 2014 年 8 月 27 日, 岩手大学 (岩手県盛岡市).

田中美吏 情動刺激に対する脊髄反射応答の興奮性変化—快・不快感情と心理的プレッシャーの影響—. 日本スポーツ心理学会第 40 回大会, 2013 年 11 月 3 日, 日本体育大学 (東京都世田谷区).

田中美吏 心理的プレッシャーに対する運動制御メカニズム. 第 30 回感情と情動の研究會, 2013 年 10 月 5 日, 同志社大学 (京都府京都市).

Tanaka, Y. Modulation of EMG activity and spinal reflex during a balancing task using lower limb under psychological pressure. *Progress in Motor Control (PMC 2013)*, 2013 年 7 月 14 日, Montreal, Canada.

〔図書〕(計 1 件)

伊達萬里子 (編)・松山博明・田中美吏・三村 覚・高見和至 (2015) 新・スポーツ心理学, 嵯峨野書院.

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.mukogawa-u.ac.jp/~tnk.lab/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 美吏 (TANAKA YOSHIFUMI)

武庫川女子大学・健康・スポーツ科学部・講師 研究者番号：70548445

(2)研究協力者

霜 辰徳 (SHIMO TATSUNORI)
福井大学・男女共同参画推進センター・
研究支援員

野坂 祐介 (NOSAKA YUSUKE)
福井大学・教育学研究科・
大学院生

奥野 靖奈 (OKUNO YASUNA)
福井大学・教育地域科学部・
学部生