

脊髄反射運動制御機構に対する感情および注意の影響

田中美吏

(福井大学教育地域科学部)

Abstract

In the present study, two experiments were conducted to investigate the influence of changes in emotion and attentional foci on lower limb muscular activity and spinal reflexes when performing a suprapostural motor task. In Experiment 1, healthy male participants ($n = 11$) viewed 30 pictures (10 neutral, 10 pleasant, and 10 unpleasant) taken from the International Affective Picture System when they performed an upper limb aiming task by standing. The Hoffmann reflex was obtained from the right soleus muscle by stimulating the tibial nerve. EMGs of the right soleus and tibialis anterior muscles were recorded. Each picture was presented for 13 s and 10 stimulations at 1 Hz were administered. Results showed that no significant differences in the EMG amplitudes, EMG frequencies, and Hoffman reflex amplitude were shown between the three picture conditions. In Experiment 2, healthy male participants ($n = 11$) performed similar motor task of the Experiment 1. After 10 acquisition trials, they performed 10 internal focus trials and 10 external focus trials. Whereas participants were instructed to focus arm movement during the trial in the internal focus condition, they were instructed to focus external target in the external focus condition. Dependent variables related to EMG activity and spinal reflexes were similar to the Experiment 1. Results showed that there were no significant differences between internal and external foci conditions for all dependent variables. These results via two experiments in this study suggests that sometimes lower limb muscular activity and spinal reflexes excitability might not be modified by emotional and attentional changes during postural control with a suprapostural motor task.

1. はじめに

スポーツや社会生活において、我々は様々な心理的变化が生じる中で最適な運動行動をとり、目標とするパフォーマンスを発揮することが求められる。スポーツの試合場面を考えると、選手自身が求めるパフォーマンスの発揮を阻害する心理的要因として感情や注意のコントロールの欠如が挙げられる。恐怖、不安、怒りなどの不快感情の誘発や、動作に対して意識を働かせすぎる分析麻痺などが具体例として挙げられる。一方で、プラス思考、動機づけなどのスポーツ心理学用語に代表されるように、快感情の増加や適切な注意のコントロールは、パフォーマンスに対して正の効果を持つケースも多い。

このような背景を基にし、本研究では、運動パフォーマンス遂行時の感情や注意の変化に付随した運動制御機構の機能変化に着目した。運動パフォーマンスは精緻な運動制御機構を基に出力されるが、この運動制御機構を機能的に分類すると、①大脳皮質（高次中枢神経）、②脊髄（低次中枢神経）、③筋活動・動作（末梢神経）の3つのレベルに大別できる。感情や注意の変化と運動制御機構の関連を検討した先行研究を調べると、動作に対する内的注意（internal focus）が外的注意（external focus）に比べてパフォーマンスに負の効果を持つことや（e.g., Wulf et al.,

1998), この現象を導く筋活動や動作メカニズム (e.g., Lohse et al., 2010), さらには快-不快感情の誘発に付随した動作や力量調節メカニズム (e.g., Coombes et al., 2005) が明らかになっており, ③の筋活動・動作レベルでは多くの知見が得られている. さらに近年の神経科学分野における研究手法の著しい進展を背景に, 快-不快感情の誘発に伴う大脳的一次運動野 (e.g., Hajcak et al., 2007) や補足運動野 (e.g., Oliveri et al., 2003) の興奮性の増大などのように, ①の大脳皮質レベルに対する研究も数多く報告されている.

このような中, ②の脊髄レベルに関しては, プライオメトリクスやストレッチ・ショートニング・サイクルといった用語に代表されるように, 運動パフォーマンスに関連した生理学的観点からは, 従来通り現在も多くの研究が行われている. しかし本研究で取り扱う心理的要因との関連についての研究は, 国内外を見渡しても非常に少ない現状にある. そのような中, 運動イメージ (e.g., Oishi et al., 1994), 高所における姿勢不安 (Sibley et al., 2007), 課題の難易度の増加 (e.g., Llewellyn & Prochazka, 1990) などの様々な心理的要因によって脊髄反射の抑制が生じることが報告されている. 本研究ではこれらの研究に追随し, 運動パフォーマンスの発揮に関連した心理的要因と脊髄レベルでの運動制御機構の関連を調べる研究を発展させることを大きな目標とした 2 つの実験を行った.

実験 1 では, 運動課題遂行時における快感情と不快感情の喚起が脊髄反射機能に及ぼす影響を調べることを目的とした. 実験 2 では, 運動課題遂行時における脊髄反射機能に内的注意 (internal focus) と外的注意 (external focus) が及ぼす影響を調べることを目的とした. なお, 本研究の 2 つの実験における運動課題には, 立位での上肢によるエイミング課題 (標的運動課題) を用いた. 野球における投球や打撃, ゴルフにおけるショットやパッティング, バレーボールにおけるサーブやレシーブ, 射撃・弓道・アーチェリーなどの標的種目などの数々の運動スキルが例として挙げられるように, これらの運動スキルでは目標とするパフォーマンスを発揮するために, 立位における下肢筋の筋活動を基に姿勢制御を保ちながら, 上肢の精緻な操作を必要とする. このような運動スキルの疑似的な課題として, 立位において両手でバーを把持し, 側方にある目標点にバーの先端に装着したレーザーポインターから放たれる光点をできる限り一致させることを実験参加者に実施させた. この運動課題を行っている最中に, 脛骨神経に電気刺激を与えることで, 下腿ヒラメ筋より Hoffmann 反射 (H 反射) を誘発し, 脊髄反射の大きさを評価した. さらに, この運動課題を行っている際のヒラメ筋と前脛骨筋の筋放電も記録することで, 感情や注意の変化が下肢筋の筋活動に及ぼす影響も合わせて検討した.

実験 1

2. 目的

感情の変化が脊髄反射機能に及ぼす影響について先行研究では, 高所 (Sibley et al., 2007), 床面の不安定性 (Hoffman & Kocaja, 1996), ならびに歩行時の道幅の狭さ (Llewellyn & Prochazka, 1990) による姿勢制御不安によって H 反射が抑制されることが報告されている. しかし, これらの研究では多くの種類がある感情のなかにおいて, 不安感情という 1 つの感情のみを取り扱っており, その他の感情については調べられていない. 感情の分類には様々な方法があるが, 進化論的感情階層仮説 (福田, 2006) では, 闘争・逃走反応 (fight or flight response) や接近などの運動行動を引き起こす快-不快感情が原始感情に位置づけられ, それらに加えて基本感情, 社会的感情, 知的感情がヒトの進化の過程を経て形成されたと説明されている.

本研究では、これらの様々な感情の中から、情動反応による運動行動を引き起こす原始感情として快-不快感情に着目した。先行研究では、快-不快感情が運動制御機能に及ぼす影響について運動速度の増加といった動作変化 (Coombes et al., 2005), ならびに力発揮の増大といった力量調節の変化 (Coombes et al., 2008) が生じることが示されており、このことは快-不快感情がスポーツ時における運動スキルにも影響することを示唆している。つまり、スポーツ場面において快-不快感情が誘発された中でも適切なパフォーマンスを発揮するためには、これらの感情の変化に対応した運動行動をとる必要がある、そのためには快-不快感情に付随した運動制御機構の機能変化を詳細に知ることが必要と言える。その一環として本実験では、快-不快感情が脊髄反射機能に及ぼす影響を調べることを目的とした。

実験的に快-不快感情の操作を行うには、これらの感情を誘発するために作成された写真刺激や映像刺激が用いられる。先行研究においても、アキレス腱反射を測定することで快-不快感情が脊髄反射機能に及ぼす影響が調べられており、快感情や不快感情を誘発する写真刺激 (Bonnet et al., 1995) や映像刺激 (Both et al., 2003) によってアキレス腱反射が増大することが報告されている。しかしこれらの研究では、運動課題を行わない安静状態において快-不快感情を誘発し、その際の脊髄反射応答が測定されている。スポーツ場面におけるパフォーマンス発揮には運動スキルを遂行している最中の感情の変化に伴う運動行動の変化が重要な要因であり、この点を考慮し本研究では、上述した運動課題を行っている最中に脊髄反射応答を記録した。Bonnet et al. や Both et al. の先行研究と同様に、運動課題を行っている最中においても快感情および不快感情によって脊髄反射が増大することを実験仮説とした。

3. 方法

3.1. 実験参加者

11名の男子大学生および男子大学院生（平均年齢 20.45 歳，標準誤差 0.68 歳）が参加した。なお、実験前に全ての実験参加者からインフォームド・コンセントを得た。

3.2. 写真刺激

運動課題遂行中に快-不快感情を誘発するために International Affective Picture System (IAPS; Lang et al., 2005) を使用した。IAPS を用いて感情と運動制御の関係を調べている先行研究 (Hajcak et al., 2007) を参考に、スポーツ場面や家族などのように 10 枚の快感情を誘発するための写真 (写真番号 2070, 2311, 4180, 4659, 5628, 5450, 7325, 8170, 8501, 8540), 事故や火傷などの 10 枚の不快感情を誘発する写真 (写真番号 3051, 3053, 3102, 3150, 6560, 9405, 9410, 9433, 9635.1, 9920), ならびに食器や家具などの 10 枚の中性写真 (写真番号 7002, 7004, 7020, 7041, 7150, 7175, 7224, 7233, 7235, 7705) を選んだ。

3.3. 運動課題

床面に開脚立位 (スタンス幅は自由) の状態を取らせ、幅 (9cm×91cm) の長方形木材に取り付けた直径 3.5cm の円柱状のバーを両手で右らせた。両手をバーの中央で接着させ、重力に任せて身体の前面に垂れた状態で握らせた。バーの右端にはレーザーポインターを装着し、実験参加者の右側方に向けて光を放出した。実験参加者の正中線から右側方 210cm の位置に直径 1cm の点 (右側方点) を設け、各試行の 13 秒間において右側方点とレーザーポインターの光点を一致させる標的運動課題を行うよう求めた。床面から右側方点までの高さは、床面からレーザーポインターまでの高さと同じように実験参加者毎に調整した。また写真刺激は、前方 90cm、高

さ 110cm の位置に設置された 21 インチのディスプレイに呈示し、その写真を注視しながら課題を行わせた。そのため、右側方点は実験参加者の視野に入らず、そのような視野状態で実験参加者は標的運動課題を行った。

3. 4. 生理指標の導出と記録

右ヒラメ筋と右前脛骨筋に、直径 1cm の銀-塩化銀双方表面電極を電極間間隔 2cm で装着し、サンプリング周波数 1000Hz、カットオフ周波数帯域 10-2000Hz で EMG を導出し (Power Lab 26T, AD Instrument Pty. Ltd., Castle Hill, Australia), 記録可能幅をヒラメ筋は $\pm 5\text{mV}$ とし、前脛骨筋は $\pm 2\text{mV}$ として増幅および記録した (Chart 7 for Windows, AD Instrument Pty. Ltd., Castle Hill, Australia)。

M 波および H 波は、面積 8cm^2 の長方形陽性電極を膝上に置き、直径 6mm の円形陰性電極を膝裏の脛骨神経を刺激する最適な位置に当て、アイソレーター (SS-104J, Nihon Kohden, Tokyo, Japan) を用いて 1ms の矩形波を 1 秒間隔で呈示することにより、ヒラメ筋の筋電図上から記録した。陽性電極と陰性電極をともにゴムバンドで強く固定することにより、刺激の定常性を確保した。また、心拍の送信機 (SP0180, AD Instrument Pty. Ltd., Castle Hill, Australia) と受信機 (MLAC35/ST, AD Instrument Pty. Ltd., Castle Hill, Australia) を用いて心拍数も記録した。

3. 5. 実験手続き

運動課題を開始する前に、最大 M 波ならびに両足での開脚立位における最大 H 波を測定した。全実験参加者の最大 M 波は平均 16.48mV (標準誤差 1.81mV , 範囲 $7.98\text{-}25.95\text{mV}$) であり、その振幅に達した時の刺激電圧は平均 52.27V (標準誤差 7.15V , 範囲 $20\text{-}105\text{V}$) であった。また最大 H 波は平均 6.59mV (標準誤差 0.72mV , 範囲 $2.71\text{-}11.59\text{mV}$) であり、その時の刺激電圧は平均 42.27V (標準誤差 5.84V , 範囲 $18\text{-}78\text{V}$) であった。

その後、課題に慣れさせるための練習 3 試行を行った後に、分析対象となる 30 試行を実施した。練習試行ではテストでは使用しない快感情写真 1 枚、不快感情写真 1 枚、および中性写真 1 枚を用いた。各試行では、ある 1 つの写真を 13 秒間呈示し、実験参加者には写真が呈示されている間はその写真を注視しながら、同時に右側方点と光点をできる限り一致させることに対しても注意を払うように教示した。さらに各試行を終えた直後には、SAM (Self-Assessment Manikin; Lang, 1980) に回答させた。SAM は感情誘発刺激に対する快-不快感情度 (valence) と覚醒度 (arousal) を 9 件法により主観的に評価する質問紙であり、その信頼性と妥当性も確認されている (Bradley & Lang, 1994)。

全 30 試行において、右ヒラメ筋と右前脛骨筋の筋活動ならびに心拍数は写真の呈示を開始した直後から 11 秒間記録した。右脛骨神経への電気刺激は 2 試行毎の 15 試行とし、多くの先行研究に用いられている方法に倣い、最大 H 波の約 50% の振幅が導出される刺激電圧を与えた。全実験参加者の刺激電圧は平均 35.55V (標準誤差 5.18V , 範囲 $15\text{-}68\text{V}$) であった。電気刺激は、EMG の記録を始めた 1 秒後より 1 秒間隔で計 10 発の刺激を与え、1 試行中に 10 の H 波を記録した。写真刺激は実験参加者毎にランダムに呈示したが、電気刺激を与える全 15 試行において快感情写真、不快感情写真、中性写真をそれぞれ 5 枚ずつ均等に呈示されるようにした。電気刺激を奇数試行もしくは偶数試行に与えるかについても実験参加者間でカウンターバランスを取った。最後に、ヒラメ筋と前脛骨筋のそれぞれに対して等尺性筋収縮による最大筋放電量 (MVC) を記録した。

3.6. データ分析

ヒラメ筋と前脛骨筋の筋活動に関しては、脛骨神経への電気刺激を与えていない 15 試行を分析対象とし、試行中の EMG 振幅として RMS を算出し、実験参加者間のデータの変動を減らすために実験参加者毎に最大筋放電量に対する割合 (%MVC) を算出した。さらに周波数解析を行うことで、各試行における平均周波数と中央周波数も算出した。

H 波に関しては、各試行における 10 発の電気刺激による H 波の振幅の平均を算出した。また H 波の変化が、ヒラメ筋の背景筋活動 (bEMG) の変化に依存するか否か、さらには拮抗筋である前脛骨筋の bEMG の変化による相反抑制機能に依存するか否かを調べるために、電気刺激直前の 40ms の bEMG の RMS を算出し (Hoffman & Koceja, 1995)、各実験参加者の各テストにおける 10 発の刺激直前の両筋の平均 bEMG を求め、実験参加者毎に %MVC を算出した。ヒラメ筋活動時における bEMG と H 波の振幅は直線関係にあり、H 波の振幅に対する bEMG の影響を除外するために、電気刺激によって導出された H 波をその刺激の直前の bEMG で除した H 波 gain を算出した (Hoffman & Koceja, 1995)。さらに H 波 gain に対して、実験参加者間のデータの変動を減らすために実験参加者毎に H 波を記録した 15 試行における H 波 gain の平均と標準偏差を基に快感情条件、不快感情条件、中性条件の H 波 gain を Z 値に変換した。

SAM によって記録した valence と arousal, 心拍数, ヒラメ筋と前脛骨筋の EMG 振幅および周波数, H 波 Gain の Z 値, ヒラメ筋と前脛骨筋の bEMG 振幅の全ての従属変数に対して、感情写真条件 (3) を実験参加者内要因とした 1 要因分散分析を行うことで条件間の平均値の差を調べた。実験参加者内要因に対する Mauchly の球面性検定において等分散が仮定できない場合には、Greenhouse-Geisser による自由度と誤差の補正值を使用した。下位検定には Bonferroni の検定を用いた。有意水準は両側検定による 5%未満とした。

4. 結果

4.1. 感情操作のチェック

Table 1 には、各感情写真条件における SAM に記入した valence score と arousal score, ならびに心拍数の全実験参加者の平均と標準誤差を示した。分散分析の結果, valence ($F(2, 20) = 137.96, p < .001, \eta_p^2 = .93$), arousal ($F(2, 20) = 30.23, p < .001, \eta_p^2 = .75$), HR ($F(2, 20) = 27.19, p < .001, \eta_p^2 = .73$) の全てにおいて条件の主効果が認められた。多重比較によれば, unpleasant 条件の valence が neutral 条件と pleasant 条件に比べて有意に小さく ($p < .001$), pleasant 条件の valence は neutral 条件に比べて有意に大きかった ($p < .001$)。さらに unpleasant 条件の arousal が neutral 条件 ($p < .001$) と pleasant 条件 ($p = .008$) に比べて有意に大きく, pleasant 条件の arousal も neutral 条件 ($p = .001$) に比べて有意に大きかった。また, unpleasant 条件の心拍数が neutral 条件 ($p < .001$) と pleasant 条件 ($p = .002$) に比べて有意に小さかった。

4.2. EMG と H 波

Table 2 には、各感情写真条件における EMG に関する全ての変数, ならびに H 波 gain の全実験参加者の平均と標準誤差を示した。分散分析の結果, 全ての変数において条件の主効果は認められなかった ($p > .230$)。多重比較では, pleasant 条件の H 波 gain が neutral 条件に比べて大きい傾向を示したが ($p = .083$), その他の変数における条件間には有意差および有意傾向は見られなかった。

Table 1

Means and standard errors of valence score, arousal score, and heart rate in each picture condition

	Neutral	Pleasant	Unpleasant
Valence score	5.19± .22	6.69± .19	2.08± .17
Arousal score	1.43± .26	3.18± .49	4.74± .61
Heart rate (bpm)	87.97± 4.50	87.50± 4.58	85.45± 4.63

Table 2

Means and standard errors of all EMG variables and H-wave gain in each picture condition

	Neutral	Pleasant	Unpleasant
RMS of SOL EMG (%MVC)	12.93± 2.56	13.14± 2.41	12.74± 2.32
Mean power frequency of SOL EMG (Hz)	141.30± 5.72	140.24± 5.78	138.49± 5.82
Median power frequency of SOL EMG (Hz)	118.01± 6.25	117.43± 6.02	115.37± 6.48
RMS of TA EMG (%MVC)	.85± .11	.83± .11	.87± .13
Mean power frequency of TA EMG (Hz)	126.25±12.43	129.54±13.69	125.68±11.74
Median power frequency of TA EMG (Hz)	101.50±14.91	105.23±16.98	100.88±13.65
H-wave gain (Zscore)	-.01± .07	.14± .05	-.11± .11
RMS of SOL bEMG (%MVC)	12.15± 2.42	12.23± 2.51	11.87± 2.39
RMS of TA bEMG (%MVC)	.89± .12	.92± .11	.95± .12

5. 考察

感情操作に対する心理的指標として、SAM を用いて調べた主観的な快-不快感情度および覚醒度の結果から、pleasant 条件では neutral 条件に比べて快感情度や覚醒が大きく、unpleasant 条件で neutral 条件に比べて不快感情度や覚醒が大きかった。これらの結果は、本実験で使用した IAPS による快感情および不快感情の操作が実験参加者の心理面に対して有効であったことを示している。さらに、unpleasant 条件における覚醒度は pleasant 条件に比べても大きかったことから、不快感情写真における操作がとくに心理面に対して有効であったと言える。このように主観的覚醒度に関しては unpleasant 条件が最も高い値を示したが、生理的指標として調べた心拍数においては、unpleasant 条件では neutral 条件や pleasant 条件に比べて低い値を示した。つまり、unpleasant 条件において不快感情写真を見ている間に自律神経系の活動は実際には抑制されたが、実験参加者はそのような生理的反応を主観的には興奮していたと評価したと考えられる。

pleasant 条件と unpleasant 条件においてこのような心理的および生理的変化が生じる中で、下肢筋であるヒラメ筋と前脛骨筋の筋活動の指標である EMG 振幅や EMG 周波数においては、条件間の有意差は示されなかった。これらの結果は、本実験における感情操作による快感情や不快感情の誘発が、上肢で標的運動課題を行っている最中の姿勢制御に関わる下肢筋の筋活動に影響を及ぼさなかったことを示唆している。姿勢制御に関わる下肢筋の筋活動と感情の変化について

て先行研究では、高所における転倒不安によって前脛骨筋の筋活動が増大し、拮抗筋である腓腹筋の筋活動は減少することが示されている (Sibley et al., 2007). 一方、不安定な床面での立位姿勢制御時にヒラメ筋や前脛骨筋の筋活動が変化しなという報告もあり (Hoffman & Koceja, 1996), 本実験ではこの報告と同様な結果が示された. Sibley et al.による実験結果は、高所で転倒を防ぐための姿勢制御方略の変化に依存した筋活動の変化と考えられ、本実験のように方略の変化を起こす必要のない姿勢制御課題では、快感情や不快感情の喚起に基づく下肢筋の筋活動の変化は生じにくいことが示唆された. 今後の研究では、本実験よりも強度の高い快感情や不快感情が喚起された場合にも同様の結果が生じるのかについて検討することが必要と言える.

また H 波の振幅に関しては、条件間の主効果は認められなかったが、多重比較では pleasant 条件の H 波 gain が neutral 条件に比べて大きい傾向を示した. この結果は、上肢において標的運動課題を行っている際の立位姿勢制御に対する脊髓反射が快感情によって促通する可能性を示唆している. 本実験の結果は 11 名の実験参加者によるものであるため、N 数のパワー不足の可能性を否定できないため、さらに実験参加者数を増やすことで、この現象の真否を確認していく必要がある.

実験 2

6. 目的

姿勢制御を伴う運動課題に対する注意焦点の影響について先行研究では、内的注意を用いた学習がスキーシミュレーターのパフォーマンスを阻害することが報告されている (Wulf & Weight, 1997). さらに、外的注意を用いた学習が内的注意に比べて、スキーシミュレーターやバランス保持課題のパフォーマンスの向上を導くことも報告されている (McNevin et al., 2003; Shea & Wulf, 1999; Wulf et al., 1998, 2001). この現象の背景にある末梢レベルでの運動制御メカニズムに関しては、バランスボード上でのバランス保持課題におけるボード動作の高い周波数 (Wulf et al., 2001), ならびに重心動揺の指標である足圧中心 (center of pressure: COP) における範囲の小ささ (Wulf et al., 2007) が示されている.

これらの先行研究では下肢による運動課題を対象としているが、本実験のように上肢を使用した運動課題を行う際の立位姿勢制御に対する注意の影響に関しても同様に、外的注意が内的注意に比べて両手によるバランス保持運動のパフォーマンスを高め (Wulf et al., 2003), 外的注意による COP の周波数の増大 (McNevin & Wulf, 2002; Wulf et al., 2004) や範囲の小ささ (Wulf et al., 2004) がその背景にある運動制御メカニズムとして報告されている. このように COP を解析する方法を用いて末梢レベルでの運動出力に関しては、注意焦点の変化に伴う運動制御機構の機能変化が調べられているが、中枢レベルでの運動制御機能を調べた先行研究は見当たらない. このような背景から本研究では、実験 1 と同様に、立位において上肢で標的運動課題を行う際の下肢筋の筋活動ならびに脊髓反射に注意焦点が及ぼす影響を調べることを目的とした. なお本実験では、上肢での標的運動課題を主課題としたため、注意焦点の操作も主課題に対するものとし、外的注意条件ではレーザーポインターから放たれる光点に注意を向けさせた. 一方、内的注意条件では両手の動作に注意を向けさせて標的運動課題を行わせた.

注意焦点と筋活動の関係について先行研究では、アームカールによる最大力発揮課題 (Marchant et al., 2009; Vance et al., 2004), 足関節底屈による等尺性筋収縮課題 (Lohse et al., 2011), ジャンプ課題 (Wulf et al., 2010), ダーツ投げ課題 (Lohse et al., 2010), およびバスケ

ットボールのフリースロー (Zachry et al., 2005) を行う際に、外的注意条件では内的注意条件に比べて主動筋もしくは拮抗筋の筋活動が抑制され、そのなかで高いパフォーマンスを発揮することが示されている。つまり、外的注意を用いることで課題パフォーマンスに対して効率的な筋活動が発揮されており、本実験のように上肢で運動課題を行う際の下肢筋の筋活動に関しても外的注意条件では筋活動が抑制されることが予想された。さらに先行研究では、姿勢制御課題遂行時の COP の周波数の増大 (McNevin & Wulf, 2002; Wulf et al., 2004) やバランスボード動作の周波数の増大 (Wulf et al., 2001) が外的注意によって生じることが示されていることから、本実験における外的注意条件においても下肢筋の筋活動の周波数が増大することが予想された。また注意と脊髄反射の関係について先行研究では、二重運動課題を行うことによる注意散漫によって最大 H 波が小さくなることが報告されているが (Weaver et al., 2012), その他の先行研究は見当たらず、内的注意や外的注意の注意焦点の変化に伴う H 反射の変化は事前に予想することができなかった。

7. 方法

7.1. 実験参加者

実験 1 と同様の 11 名が参加した。なお、実験 1 とは異なる日に実験を行い、実験前に全ての実験参加者からインフォームド・コンセントを得た。

7.2. 運動課題

実験 1 と同様な運動課題を用い、開脚立位において上肢を使用した標的運動課題を行わせた。視線方略が課題パフォーマンスに影響しないように、前方 90cm、高さ 110cm の位置に 21 インチのディスプレイを設置し、課題遂行中に直径 2.5cm の点を呈示し、その点を注視しながら課題を行わせた。

7.3. 生理指標の導出と記録

実験 1 と同様な方法で、運動課題遂行中に右ヒラメ筋と右前脛骨筋の EMG を記録した。M 波、H 波、および心拍数の記録方法も実験 1 と同様であった。

7.4. 実験手続き

運動課題を開始する前に、最大 M 波ならびに両足での開脚立位における最大 H 波を測定した。全実験参加者の最大 M 波は平均 17.55mV (標準誤差 1.94mV, 範囲 8.56-28.57mV) であり、その振幅に達した時の刺激電圧は平均 89.36V (標準誤差 6.39V, 範囲 67-131V) であった。また最大 H 波は平均 5.94mV (標準誤差 0.86mV, 範囲 2.98-13.26mV) であり、その時の刺激電圧は平均 71.91V (標準誤差 6.81V, 範囲 31-101V) であった。

その後、課題に慣れさせるための練習 10 試行を行わせた後に、内的注意条件 10 試行と外的注意条件 10 試行を行わせた。内的注意条件では、第 1 試行目を開始する前に「これからの 10 試行においては、手の動きを意識し、手の動きを出来る限り固定することで光点と側方点を出来る限り一致させるように」と教示した。さらに内的注意条件開始後も 2 試行ごとに「手の動きを意識し、手の動きを出来る限り固定するようにしてください」と教示した。外的注意条件では、第 1 試行目を開始する前に「これからの 10 試行においては、ポインターの光の動きを意識し、光の動きを出来る限り固定することで光点と側方点を出来る限り一致させるようにしてください」と教示した。さらに外的注意条件開始後も 2 試行ごとに「ポインターの光の動きを意識し、光の動きを出来る限り固定するように」と教示した。

練習を含めた全 30 試行において、右ヒラメ筋と右前脛骨筋の筋活動ならびに心拍数はディスプレイ上に点を呈示した直後から 11 秒間記録した。右脛骨神経への電気刺激は 2 試行毎の半分の試行とし、多くの先行研究に用いられている方法に倣い、最大 H 波の約 50%の振幅が導出される刺激電圧を与えた。全実験参加者の刺激電圧は平均 62.00V (標準誤差 6.04V, 範囲 27-86V) であった。電気刺激は、EMG の記録を始めた 1 秒後より 1 秒間隔で計 10 発の刺激を与え、1 試行中に 10 の H 波を記録した。内的注意条件と外的注意条件を行う順序、ならびに電気刺激を奇数試行もしくは偶数試行に与えるかについては実験参加者間でカウンターバランスを取った。最後に、ヒラメ筋と前脛骨筋のそれぞれに対して等尺性筋収縮による最大筋放電量 (MVC) を記録した。

7.5. データ分析

ヒラメ筋と前脛骨筋の筋活動に関しては、脛骨神経への電気刺激を与えていない内的注意条件における 5 試行と外的注意条件における 5 試行を分析対象とした。試行中の EMG における RMS, 平均周波数, および中央周波数の算出法は実験 1 と同様とした。さらに H 波 gain, ヒラメ筋と前脛骨筋の bEMG の RMS の算出法も実験 1 と同様とした。さらに内的注意条件と外的注意条件の各試行を終えた直後に、その試行において注意焦点を操作する教示を意識できたか否かを確認するために、9 件法 (9 が非常に意識できた~1 が全く意識できなかった) の質問紙に回答させた。これらの全ての変数に対して対応のある t 検定を行うことで、条件間の平均値の差を調べた。有意水準は両側検定による 5%未満とした。

8. 結果

8.1. 注意焦点操作のチェックと心拍数

質問紙を用いて 9 件法による注意焦点の操作チェックを行ったが、内的注意条件では全実験参加者の平均が 6.68 (SD=1.36), 外的注意条件では 6.40 (SD=1.32) であり、条件間の有意差は見られなかった ($t(10)=1.31, p=.220$)。素点の結果からも、両条件において注意焦点を教示通りにある程度向けることができたと言える。内的注意条件における全実験参加者の平均心拍数は 88.50bpm (SD=16.38), 外的注意条件では 89.30bpm (SD=16.01) であり、条件間の有意差は見られなかった ($t(9)=1.03, p=.328$)。

8.2. EMG と H 波

Table 3 には、両注意条件における EMG に関する全ての変数、ならびに H 波 gain の全実験参加者の平均と標準誤差を示した。 t 検定の結果、全ての変数において条件の有意差は見られなかった ($p > .107$)。

9. 考察

内的注意と外的注意を促すために用いた教示による実験操作の有効性を確認するために回答させた質問紙の結果から、本実験における注意の操作はある程度有効であったと考えられる。さらに心拍数の結果からも、同程度の生理的覚醒水準で両条件において標的運動課題を行っていたと言える。このような中、上肢で標的運動課題を行っているときの下肢筋であるヒラメ筋と前脛骨筋の筋活動に関しては、RMS, 周波数の全ての変数に条件間の差は見られなかった。これらの結果から、実験仮説として予想したような、外的注意に伴う効率的な筋活動、ならびに周波数の増大は本実験では得られなかった。しかしながら周波数に関しては、前脛骨筋における EMG の周

Table 3

Means and standard errors of all EMG variables and H-wave gain in each attentional focus condition

	Internal	External
RMS of SOL EMG (%MVC)	11.50± 1.34	11.89± 1.31
Mean power frequency of SOL EMG (Hz)	135.51± 5.12	135.54± 5.23
Median power frequency of SOL EMG (Hz)	112.79± 5.06	113.07± 5.30
RMS of TA EMG (%MVC)	.81± .07	.79± .07
Mean power frequency of TA EMG (Hz)	106.02± 6.14	111.64± 4.53
Median power frequency of TA EMG (Hz)	78.50± 7.83	86.32± 5.99
H-wave gain (Zscore)	.08± .11	-.08± .11
RMS of SOL bEMG (%MVC)	9.97± 1.47	10.32± 1.50
RMS of TA bEMG (%MVC)	1.37± .34	1.11± .24

波数が外的注意条件では内的注意条件に比べて全実験参加者の 11 名中 7 名が大きい値を示し、とくに中央周波数に関しては平均値の差の p 値が .107 であった。複数の先行研究において外的注意に伴う動作周波数の増大が示されていることから (McNevin & Wulf, 2002; Wulf et al., 2004), 前脛骨筋の筋活動における条件間の差の有意性については、さらに実験参加者を増やし確認する必要がある。

さらに H 波の振幅に関しても条件間の差は見られず、内的注意や外的注意に伴う脊髄反射の機能変化は生じなかった。心理的要因と脊髄反射機能の関係について先行研究では、運動イメージ (e.g., Oishi et al., 1994), 高所における姿勢不安 (Sibley et al., 2007), 課題の難易度の増加 (e.g., Llewellyn & Prochazka, 1990) によって H 反射が抑制されることが報告されている。一方、暗算による二重課題 (Oishi et al., 1994 Experiment 2) や運動イメージ (Aoyama & Kaneko, 2011; Bonnet et al., 1997; Hashimoto & Rothwell, 1999) によって H 反射の振幅が変化しないという報告もある。このような結果の差は、心理面の実験操作に伴う認知的負荷の差に依存していると考えられ、本実験における注意操作に関して低次中枢である脊髄レベルでの反射機能を変化させるまでの認知的負荷ではなかったと考えられる。以上より本実験では、姿勢制御課題を行う際に先行研究において数多く報告されている外的注意による運動パフォーマンスの促進や、内的注意による運動パフォーマンスの阻害の背景にある下肢筋の筋活動や脊髄反射のメカニズムを同定するまでには至らなかった。今後の研究では、異なる運動課題を行う場合や、本実験以上の強度の注意の操作を行った場合についても検討することが必要と言える。

10. まとめ

本研究の目的は、運動課題を行う際の感情および注意の変化が脊髄反射に及ぼす影響を調べることであった。2 つの実験において実験参加者に立位で上肢を使用した標的運動課題を実施させた。実験 1 では、実験参加者の前方にあるディスプレイに快感情、不快感情、および中性感情を誘発する写真刺激を呈示するなかで運動課題を実施させ、運動課題遂行中にヒラメ筋と前脛骨筋

の EMG を記録した。さらに脛骨神経への電気刺激により、H 反射を誘発し、脊髓反射の興奮性を調べた。実験の結果、写真刺激によって主観的に快感情や不快感情を喚起することには成功したが、そのような感情の変化に伴う筋活動や脊髓反射の有意な変化は示されなかった。実験 2 では同様の運動課題を行う際に注意焦点に関する 2 つの異なる条件を設け、内的注意条件では手の動きに注意を向けさせ、外的注意条件ではレーザーポインターの光に注意を向けさせて課題を行わせた。実験 1 と同様に、運動課題遂行中のヒラメ筋と前脛骨筋の EMG、ならびに H 反射を記録したが、実験 2 においてもこれらの変数に 2 つの注意条件間の有意差は示されなかった。これらの結果を基に本研究では、快-不快感情や注意焦点の変化が立位で上肢を使用した運動課題を行う際の下肢筋の筋活動や脊髓反射機能に影響しないことが示唆された。

引用文献

- Aoyama, T., & Kaneko, F. (2011). The effect of motor imagery on gain modulation of the spinal reflex. *Brain Research*, *1372*, 41-48.
- Bonnet, M., Bradley, M. M., Lang, P. J., & Requin, J. (1995). Modulation of spinal reflexes: Arousal, pleasure, action. *Psychophysiology*, *32*, 367-372.
- Bonnet, M., Decety, J., Jeannerod, M., & Requin, J. (1997). Mental simulation of an action modulates the excitability of spinal reflex pathways in man. *Cognitive Brain Research*, *5*, 221-228.
- Both, S., Everaerd, W., & Laan, E. (2003). Modulation of spinal reflexes by aversive and sexually appetitive stimuli. *Psychophysiology*, *40*, 174-183.
- Bradley, M. M., & Lang, P. J. (1994). Measuring emotion: The Self-Assessment Manikin and the semantic differential. *Journal of Behavioral Therapy and Experimental Psychiatry*, *25*, 49-59.
- Coombes, S. A., Gamble, K. M., Cauraugh, J. H., & Janelle, C. M. (2008). Emotional states alter force control during a feedback occluded motor task. *Emotion*, *8*, 104-113.
- Coombes, S. A., Janelle, C. M., & Duley, A. R. (2005). Emotion and motor control: Movement attributes following affective picture processing. *Journal of Motor Behavior*, *37*, 425-436.
- 福田正治 (2006). 感じる情動・学ぶ感情 感情学序説. ナカニシヤ出版.
- Hajcak, G., Molnar, C., George, M. S., Bolger, K., Koola, J., & Nahas, Z. (2007). Emotion facilitates action: a transcranial magnetic stimulation study of motor cortex excitability during picture viewing. *Psychophysiology*, *44*, 91-97.
- Hashimoto, R., & Rothwell, J. C. (1999). Dynamic changes in corticospinal excitability during motor imagery. *Experimental Brain Research*, *125*, 75-81.
- Hoffman, M. A., & Koceja, D. M. (1995). The effects of vision and task complexity on Hoffmann reflex gain. *Brain Research*, *700*, 303-307.
- Lang, P. J. (1980). Behavioral treatment and bio-behavioral assessment: Computer application. In J. B. Sidowski, J. H. Johnson, & T. A. Williams (Eds.), *Technology in mental health care delivery systems* (pp. 119-137). Norwood, NJ: Ablex.
- Lang, P. J., Bradley, M. M., & Cuthbert, B. N. (2005). *International Affective Picture System (IAPS): Affective rating of pictures and instruction manual* (Tech. Rep. No. A-8).

Gainesville: University of Florida.

- Llewellyn, M., Yang, J. F., & Prochazka, A. (1990). Human H-reflexes are smaller in difficult beam walking than in normal treadmill walking. *Experimental Brain Research*, *83*, 22-28.
- Lohse, K. R., Sherwood, D. E., & Healy, A. F. (2010). How changing the focus of attention affects performance, kinematics, and electromyography in dart throwing. *Human Movement Science*, *29*, 542-555.
- Lohse, K. R., Sherwood, D. E., & Healy, A. F. (2011). Neuromuscular effects of shifting the focus of attention in a simple force production task. *Journal of Motor Behavior*, *43*, 173-184.
- Marchant, D. C., Greig, M., & Scott, C. (2009). Attentional focusing instructions influence force production and muscular activity during isokinetic elbow flexions. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *23*, 2358-2366.
- McNevin, N. H., Shea, C. H., & Wulf, G. (2003). Increasing the distance of an external focus of attention enhances learning. *Psychological Research*, *67*, 22-29.
- McNevin, N. H., & Wulf, G. (2002). Attentional focus on supra-postural tasks affects postural control. *Human Movement Science*, *21*, 187-202.
- Oishi, K., Kimura, M., Yasukawa, M., Yoneda, T., & Maeshima, T. (1994). Amplitude reduction of H-reflex during mental movement simulation in elite athletes. *Behavioural Brain Research*, *62*, 55-61.
- Oliveri, M., Babiloni, C., Filippi, M. M., Caltagirone, C., Babiloni, F., Cicinelli, P., . . . Rossini, P. M. (2003). Influence of the supplementary motor area on primary motor cortex excitability during movements triggered by neutral or emotionally unpleasant visual cues. *Experimental Brain Research*, *149*, 214-221.
- Shea, C. H., & Wulf, G. (1999). Enhancing motor learning through external-focus instructions and feedback. *Human Movement Science*, *18*, 553-571.
- Sibley, K. M., Carpenter, M. G., Perry, J. C., & Frank, J. S. (2007). Effects of postural anxiety on the soleus H-reflex. *Human Movement Science*, *26*, 103-112.
- Vance, J., Wulf, G., Töllner, T., McNevin, N., & Mercer, J. (2004). EMG activity as a function of the performer's focus of attention. *Journal of Motor Behavior*, *36*, 450-459.
- Weaver, T. B., Janzen, M. R., Adkin, A. L., & Tokuno, C. D. (2012). Changes in spinal excitability during dual task performance. *Journal of Motor Behavior*, *44*, 289-294.
- Wulf, G., Dufek, J. S., Lozano, L., & Pettigrew, C. (2010). Increased jump height and reduced EMG activity with an external focus. *Human Movement Science*, *29*, 440-448.
- Wulf, G., Höß, M., & Prinz, W. (1998). Instructions for motor learning: Differential effects of internal versus external focus of attention. *Journal of Motor Behavior*, *30*, 169-179.
- Wulf, G., Mercer, J., McNevin, N., & Guagagnoli, M. A. (2004). Reciprocal influences of attentional focus on postural and suprapostural task performance. *Journal of Motor Behavior*, *36*, 189-199.
- Wulf, G., Shea, C. H., & Park, J-H. (2001). Attention and motor performance: Preferences for

- and advantages of an external focus. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 72, 335-344.
- Wulf, G., Töllner, T., & Shea, C. H. (2007). Attentional focus effects as a function of task difficulty. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 78, 257-264.
- Wulf, G., & Weight, C. (1997). Instructions about physical principles in learning a complex motor skill: To tell or not to tell. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 68, 362-367.
- Wulf, G., Weight, C., Poulter, D., & McNevin, N. (2003). Attentional focus on suprapostural tasks affects balance learning. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 56, 1191-1211.
- Zachry, T., Wulf, G., Mercer, J., & Bezodis, N. (2005). Increased movement accuracy and reduced EMG activity as the result of adopting an external focus of attention. *Brain Research Bulletin*, 67, 304-309.