

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 4 月 24 日現在

機関番号：32612

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26750242

研究課題名(和文) 運動のパラツキを生み出す神経機構の解明

研究課題名(英文) Neural substrates underlying performance variability

研究代表者

水口 暢章 (MIZUGUCHI, Nobuaki)

慶應義塾大学・理工学部(矢上)・訪問研究員

研究者番号：80635425

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：ヒトが運動を同じように繰り返し行おうとしても毎試行ばらつく。そのパラツキを生み出す神経機構が運動課題の難しさによって異なるかを検討するために、難易度の異なる課題中の脳活動を計測した。実際のスポーツ動作中の脳活動を精度よく計測することは困難であるため、実際の運動と脳活動が類似していると考えられている運動イメージを行った。難しい大車輪の動作の運動イメージ中の脳活動は簡単な動作である懸垂の運動イメージと脳活動が異なることが明らかとなった。したがって、運動のパラツキを生み出す神経機構も動作の難易度によって異なることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：To elucidate the neural substrate associated with difficult whole-body movements, we measured brain activity during kinesthetic motor imagery. Brain activity was assessed with functional magnetic resonance imaging. Nineteen participants imagined three types of whole-body movement with the horizontal bar: the giant swing, kip, and chin-up. Activity in the primary visual cortex (V1) during kinesthetic motor imagery was significantly greater in the least-vivid imagery (giant swing) than the most-vivid imagery (chin-up) within participants. Across participants, V1 activity of kinesthetic motor imagery of the kip was negatively correlated with vividness of the kip imagery. These results suggest that activity in V1 is dependent upon the capability of kinesthetic motor imagery for difficult whole-body movements. This indicates that brain activity in association with movement variability might depend upon the difficulty of movement.

研究分野：運動制御

キーワード：脳活動

1. 研究開始当初の背景

運動のパラツキはスポーツのパフォーマンスと関連するため、運動のパラツキを小さくすることはスポーツ競技成績を高める上で重要である。しかしながら、ヒトは、例えばトッパスリットであっても、ロボットのように全く同一の運動を繰り返し行うことはできず、試行毎に運動がばらつくことは避けられない。これまでに、運動のパラツキは脳活動に由来することが示唆されているが、どのような脳領域が運動のパラツキと関連しているかなど神経メカニズムは不明な点が多い。特にスポーツのような複雑な全身運動に関する研究はほとんど行われていなかった。

また、近年は、神経修飾法によって非侵襲的に脳活動を人工的に修飾できることが示唆されている。したがって、運動のパラツキと関連のある脳領域と特定することができれば、その領域の活動を選択的に修飾する戦略をとることができる。もし、運動のパラツキの原因となる脳活動を減少させることができれば、運動のパラツキを減少させることにつながり、その結果として運動パフォーマンスが向上すると考えられる。

運動パフォーマンスを神経科学的手法で高めることができれば、スポーツやリハビリテーションなど幅広く応用が可能である。

2. 研究の目的

本研究では、運動のパラツキと関連のある脳領域を特定し、その脳領域の活動を修飾することで運動パフォーマンスを向上させることを目的としている。これまでに、運動の種類や難易度が異なると運動遂行中の脳活動も異なることが報告されている。したがって、運動が異なるとそのパラツキを生み出す神経メカニズムも異なる可能性がある。しかし、これまでに手指を使った比較的単純な運動中の脳活動はよく研究されているが、スポーツのように複雑な全身運動を遂行している最中にどのような脳活動が観察されるかはほとんど明らかになっていない。そこで、直接実際のスポーツ動作を対象とすることにした。実験1の目的は、複雑な全身動作と関連のある脳活動を明らかにすることであった。しかし、実際のスポーツ中の脳活動を測定することは技術的に困難であるため、運動中と類似した脳活動を示すことが知られている運動イメージ課題を用いた。

運動パフォーマンスと関連する脳活動が明らかとなっても、実際にその脳活動がパラツキを生み出しているかという因果関係を明らかにすることはできない。そこで因果関係を調べるため、非侵襲的に脳活動を修飾する方法(経頭蓋直流電気刺激)を用いて運動パフォーマンスが変化するか明らかにすることを目的とした(実験2)。運動課題は精密な動作と姿勢保持が求められるダーツとし、刺激部位は運動制御に重要な役割を果たす

小脳とした。

3. 研究の方法

(1) 実験1

実験1では一般成人を対象に、難易度の異なる3種類の鉄棒を用いた動作をイメージさせ、イメージ中の脳活動を機能的磁気共鳴画像法(fMRI)で測定した。イメージさせた動作は、被験者が行うことが困難である大車輪、け上がり、簡単な懸垂であった。実験にあたり、被験者がこれまでに大車輪を行ったことが無いことを口頭で確認している。全被験者が同程度の動作速度でイメージを行えるように統制するために、熟練者が3種類の動作を行っている動画を運動イメージ課題中に被験者に提示し、熟練者と同様の速度でイメージを行うように教示した。さらに、運動イメージは筋感覚的運動イメージを行い、視覚的イメージは行わないように教示した。運動イメージ中の脳活動は動画を観察することで生じた脳活動も含まれているため、動作を観察するがイメージを行わない条件も行った。したがって、合計6条件の課題が行われた。

脳活動計測は1.5 T MR装置を用いて Blood oxygenation level dependent (BOLD) 信号を取得した。撮像パラメータは TR 3000 ms, TE 50 ms, FOV 22 cm × 22 cm, flip angle 90°, slice thickness 5 mm, gap 1 mm であった。1条件につき30秒×12回行った。Statistical Parametric Mapping (SPM8, Wellcome Department of Cognitive Neurology, London, UK)を用いて、取得した脳画像をリアライメント、標準化、スムージングを行った。各6条件の脳活動を求め、動作ごとに運動イメージ条件の脳活動と観察条件の脳活動の差分を求めた。さらに、難しい大車輪と簡単な懸垂の脳活動の差分を求め、難しさに関連する脳領域を求めた。

個人ごとに運動イメージの鮮明さを評価するために、脳活動計測後に質問紙を用いて内省を記録した。

被験者の主観的なイメージの鮮明さと脳活動の相関を求めた。

(2) 実験2

被験者はダーツ経験が少ない、もしくは全く無い24名とした。ダーツ課題は、右手で投げ、常にダーツボードの中心を狙うように指示した。さらに被験者には実験中にフォームを変えず、毎回同じように投げるように指示した。ダーツボードの中心は高さ1.73m、被験者から2.44mの位置に設置した。小脳刺激は経頭蓋直流電気刺激装置(DC-stimulator-Pulse M, neuroConn, Germany)を用いて、活動高めると考えられる陽極刺激、抑制すると考えられる陰極刺激、コントロール条件とするシャム刺激の3条件を行った。小脳刺激は5cm×5cmの電極を用い、刺激時間は20分間とした。全被験

者は全3条件を最低1週間以上の間隔を空けて行った。刺激順序の影響をなくすため、counterbalanced designで行った。ダーツボードをビデオカメラで撮影し、動作解析ソフト (Frame Dias IV, DKH, Japan) で中心からの距離を求め、その距離をパフォーマンスの指標とした。この解析は、刺激条件が知らされていない験者が行った(double blind)。被験者は各条件それぞれで150投行った。小脳刺激は26投目から125投目の間に行われ、刺激をしていない1-25投目のパフォーマンスを基に標準化を行った。

4. 研究成果

(1) 実験1

運動イメージ条件、および、運動観察条件では動作の難易度に関わらず、運動前野や頭頂連合野などに活動が見られた(図1)。運動イメージ条件の脳活動から運動観察条件の活動を差し引いた結果、イメージ中には補足運動野の活動が高いことが明らかとなった。先行研究により、補足運動野は運動イメージ中に活動することがわかっており、それを支持する結果が得られた。さらに、最も難しい大車輪のイメージ中の脳活動から最も簡単な懸垂のイメージ中の脳活動を差し引いた結果、大車輪のイメージ中には一次視覚野の活動がより高いことが明らかとなった(図2)。一次視覚野は視覚的なイメージ形成に重要な部位であることから、難しい全身動作をイメージする際には視覚的なイメージを代償的に行う可能性が示された。さらに、各個人の視覚野の活動とイメージの鮮明さには相関関係があることが明らかとなった(図3)。つまり、イメージが不鮮明な被験者ほど視覚的イメージの貢献度が大きい可能性が示された。このような難易度による視覚的運動イメージの貢献度の違いは、手指のイメージ研究では報告されておらず、手指の比較的簡単な動作と複雑な全身動作のイメージ中では難易度に違いが脳活動に及ぼす影響は異なる可能性が示された。

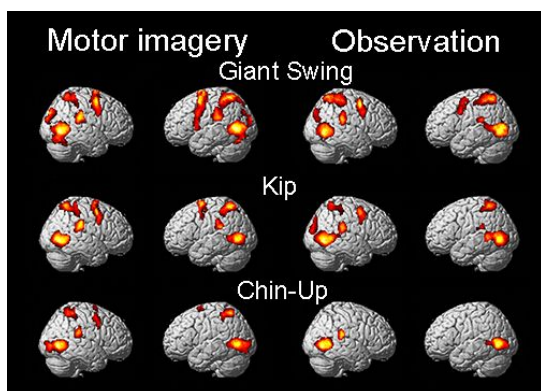


図1 運動イメージ課題および観察課題中の脳活動

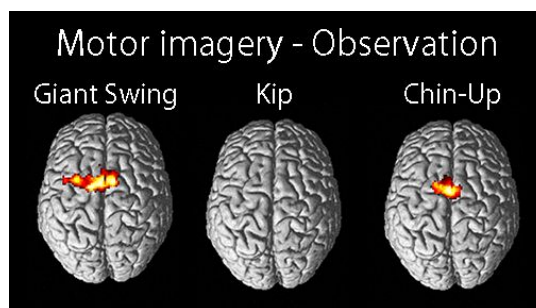


図2 大車輪の運動イメージ中の脳活動と懸垂の運動イメージ脳活動の差分

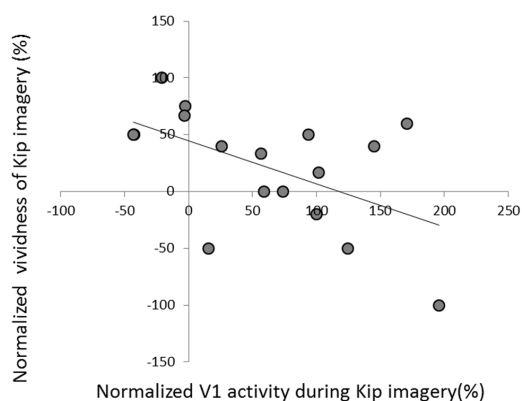


図3 視覚野の脳活動とイメージの鮮明さの相関

(2) 実験2

実験を通して被験者のパフォーマンスが向上したが、刺激条件による差は見られなかった。刺激による効果とパフォーマンスとの関連を調べたところ、パフォーマンスが低い被験者ほど陰極刺激によるパフォーマンス向上効果が大きかった($r = -0.51, p < 0.05$)。パフォーマンス上位群、下位群に分類したところ、パフォーマンス下位群では陰極刺激条件の方がシャム刺激条件よりも向上効果が有意に大きかった($p < 0.05$)。この結果は小脳刺激によるパフォーマンス向上効果はパフォーマンスレベルに依存する可能性が示された。未獲得の運動実行中には脳内の神経ノイズが大きいと考えられている。陰極は小脳の活動を抑制することから、小脳内の神経ノイズを軽減した結果ダーツの試行間分散が減少した結果、パフォーマンスが向上したと推察した。

(3) まとめ

これらの研究成果から、神経科学的手法を用いてスポーツパフォーマンスのバラツキを減少させられる可能性が示された。これはスポーツのトレーニングやリハビリテーションにも応用可能であると考えられる。

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 3 件)

Nobuaki Mizuguchi, Hiroki Nakata, Kazuyuki Kanosue. Motor imagery beyond the motor repertoire: Activity in the primary visual cortex during kinesthetic motor imagery of difficult whole body movements. *Neuroscience*. (2016) 315:104-13. doi: 10.1016/j.neuroscience.2015.12.013. 査読有

Nobuaki Mizuguchi, Shintaro Uehara, Satoshi Hirose, Shinji Yamamoto, Eiichi Naito. Neuronal Substrates Underlying Performance Variability in Well-Trained Skillful Motor Task in Humans. *Neural Plast.* (2016) 2016:1245259. doi: 10.1155/2016/1245259. 査読有

Nobuaki Mizuguchi, Hiroki Nakata, Kazuyuki Kanosue. The right temporoparietal junction encodes efforts of others during action observation. *Sci Rep.* (2016) 6:30274. doi: 10.1038/srep30274. 査読有

[学会発表](計 2 件)

水口暢章、彼末一之. 小脳への経頭蓋直流電気刺激による投パフォーマンスの向上. 第回日本運動生理学会大会, 2016年7月28日「熊本大学(熊本県・熊本市)」
Nobuaki Mizuguchi, Hiroki Nakata, Kazuyuki Kanosue. Motor imagery beyond the motor repertoire: V1 activity predicts capability of kinesthetic motor imagery of complex whole body movements. *Neuroscience2015*, 2015年10月18日「Chicago (USA)」

6. 研究組織

(1)研究代表者

水口 暢章 (MIZUGUCHI Nobuaki)
慶應義塾大学・理工学部・訪問研究員
研究者番号: 80635425