

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 3 日現在

機関番号：17702

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23700724

研究課題名(和文) 運動修正技能の熟達に関わる中枢メカニズムの解明

研究課題名(英文) Understanding the neural mechanism of expertise in movement correction

研究代表者

中本 浩揮 (Nakamoto, Hiroki)

鹿屋体育大学・スポーツ人文・応用社会科学系・講師

研究者番号：10423732

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円、(間接経費) 900,000円

研究成果の概要(和文)：環境の変化に合わせて遂行中の運動を素早く正確に修正する運動修正能力は、適応的な行動の発現に不可欠な能力である。本研究はスポーツにおける運動修正能力の熟達に関与する中枢メカニズムを明らかにすることを目的とした。一連の研究から、運動修正には、刺激の弁別、遂行中の運動のエラー検出、出力された運動プログラムの抑制と切り替え処理が必要であり、これらの処理を達成するために、帯状回、視床背内側核、右下前頭回、前補足運動野を中心とした中枢ネットワークが関与していることが示唆された。また、運動修正の熟達には、特に、右下前頭回の抑制機能の発達が重要であることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：The capacity to correct an ongoing movement rapidly and precisely and depending on environmental changes is essential for our adaptive behavior. The present study was conducted to clarify the neural mechanisms underlying the proficient movement correction ability observed in expert in sports. The main findings were as follows: 1) movement correction involves some important cognitive processes such as stimulus identification, error detection, and inhibition and/or switching of motor program; 2) these processes occur in the cingulate cortex, mediodorsal nucleus, right inferior frontal gyrus, and pre-supplementary motor area, respectively; and 3) specifically, the inhibition function is strongly related to the proficiency of movement correction in sports.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学

キーワード：運動修正 スポーツ心理学 知覚-運動制御

1. 研究開始当初の背景

環境の変化に合わせて遂行中の運動を素早く正確に修正する運動修正能力は、適応的な行動の発現に不可欠な能力である。これまで、スポーツ科学領域において、この能力が野球やテニスといった打球運動の熟達に伴って発達することが明らかにされてきた (Runigo et al., 2005, 2010; 中本ら, 2008)。

運動修正には、一度計画された運動のプログラムを抑制し、新たな環境に適応するように運動のパラメータを再構築する再プログラミングが必要であると考えられていることから (Teixeira et al., 2006)、スポーツにおける運動修正能力の熟達にもこれらの要因が関与していると推測されている (中本ら, 2008)。

しかしながら、これまでの研究では、主に行動指標からの検討に留まっており、実際どのような中枢機能が運動修正に関与しているかは不明な点が多く、優れた運動修正を実現させるメカニズムに関する体系的な検討はなされていない。

2. 研究の目的

そこで本研究では、運動修正およびその熟達に関与する脳部位を同定することで、優れた運動修正能力を実現する中枢メカニズムについて明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 基準課題

実験課題は、接近する移動標的の到達に合わせて、タイミングよくボタン押し反応またはリーチング反応を行う一致タイミング課題とした (図 1)。運動の修正を誘発するために、移動標的が一定の速度で開始点から到達点まで移動する定速条件に加え、標的の速度が特定の時点から急激に加速・減速する速度変化条件を用いた。

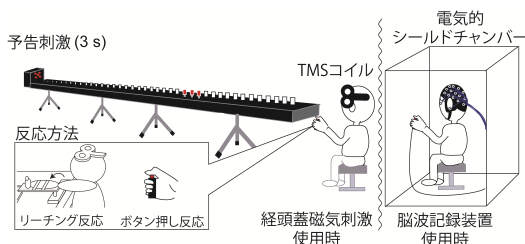


図1. 基準課題および実験装置の配置。移動指標を呈示するための装置として、200個の赤色発光ダイオード (LED) を2 cm間隔で配置した長さ4 mのレールを使用した。LEDは、開始点から到達点まで経時点灯し、移動指標が参加者に向かって移動するように見える。

(2) 脳波を指標とした運動修正およびその熟達に関与する脳部位の同定

運動修正およびその熟達に関与する脳波成分の同定および信号源推定を行うために、打球運動の熟練者と未熟練者を対象とし、基準課題遂行中の脳波を記録した。記録された脳波は、速度変化を基準に、-200ms から1000ms 区間に切り取り、事象関連電位の解析および信号源推定の解析を行った。なお、信号源推定には BESA プログラムを用い、主成

分分析を基にした信号源解析を行った。移動標的の呈示条件は、定速、加速、減速とし、速度変化は加速・減速ともに標的到達前 300ms, 200ms, 100ms とした。反応方法はボタン押し反応のみとした。

運動修正に関与する脳部位を同定するために、打球運動の熟練者と未熟練者を対象とし、基準課題遂行中に、運動の再プログラミングに関与すると考えられる、右下前頭回および前補足運動野に経頭蓋磁気刺激を施し、運動修正パフォーマンスへの影響を検討した。磁気刺激を施すタイミングは、速度変化時点、変化後 100ms, 200ms とした。移動標的の呈示条件は、定速、加速、減速とし、速度変化は加速・減速ともに標的到達前 300ms とした。この課題に関しては、反応方法をボタン押し反応とリーチング反応の 2 課題で別々に行った。

運動修正時の前補足運動野の役割を詳細に検討するために、打球運動の熟練者と未熟練者を対象とし、標的の速度変化の大きさを操作して、大きな運動速度の修正を要する課題と小さな運動速度の修正を要する課題中の磁気刺激によるパフォーマンス変化を検討した。磁気刺激を施すタイミングは、速度変化時点、変化後 100ms, 200ms とした。移動標的の呈示条件は、定速、加速、減速とし、速度変化は加速・減速ともに標的到達前 300ms とした。反応方法はリーチング反応のみとした。

4. 研究成果

(1) 一致タイミング誤差の分析から、運動の修正を要求される加速・減速条件では、熟練者の方が未熟練者よりも短時間で正確に運動修正が可能であり、減速ではその差が顕著になることがわかった。

(2) 脳波事象関連電位の分析から、速度変化後 200ms 後に陰性電位、300ms 後に陽性電位、400ms 後に陰性電位が観測された。これらの電位の振幅は、熟練者の方が初級者よりも有意に大きかった。先行研究に基づく解釈から、200ms 後の陰性電位は刺激弁別、300ms 後の陽性電位は抑制、400ms 後の陰性電位は刺激-反応関係のアップデートに関連していると推測される。この結果は、優れた運動修正が、速度変化の検出、運動プログラムの抑制、運動パラメータの再構築によって達成される可能性を示唆する。

(3) 脳波の信号源推定から、速度変化後 200ms 後の陰性電位は帯状回、300-500ms 後の陽性電位は視床背内側核に由来していることが示された。前者は、エラー検出に関与し、後者は一時的な情報の操作や処理、また運動出力に関与しているとされる。また、両

者は機能的連関を持っていることが報告されていることから、運動修正には、帯状回と視床背内側核を含む中枢ネットワークが関与している可能性が示唆された。

(4) 磁気刺激によるタイミング誤差への影響を分析したところ、右下前頭回への磁気刺激が熟練者の減速に対するパフォーマンスを低下させ、初級者では影響が見られなかった。また、前補足運動野および運動野への磁気刺激を与えた条件では、磁気刺激が与えられない条件に比べて、いずれの群もタイミングの正確性が低下した。さらに、標的の加速に対するリーチング動作の加速に関して、標的加速時および100ms後に運動野を磁気刺激した場合、リーチング動作の加速度が磁気刺激のない条件よりも低下し、標的加速から100ms後および200ms後に前補足運動野を磁気刺激した場合、リーチング動作の加速度の低下が見られた。以上の結果は、運動野と前補足運動野が運動修正に関与していることを示すと同時に、両者の間に運動再構築のためのネットワークが形成されている可能性があることを示唆する。しかし、前補足運動への磁気刺激は両群のパフォーマンスを低下させたことから、運動修正の熟達には右下前頭回の抑制機能の発達に関与している可能性が示された。

(5) 標的の速度変化の大きさを操作して、大きな運動速度の修正を要する課題と小さな運動速度の修正を要する課題を用い、磁気刺激によるパフォーマンス変化について検討した結果、速度変化の大きさ（運動速度の修正の大きさ）に関わらず、磁気刺激によってタイミング誤差の増大と動作速度の減少およびピーク加速度の尚早化が見られた。この結果から、前補足運動野は動作の切り替え制御には関与するが、パラメータ調節には関与しないことが明らかにされた。

(6) 以上の結果から、運動修正には、刺激の弁別、遂行中の運動のエラー検出、出力された運動プログラムの抑制と切り替えの処理が必要であり、これらの処理を達成するために、帯状回、視床背内側核、右下前頭回、前補足運動野を中心とした中枢ネットワークが関与していることが示唆された。また、運動修正の熟達には、特に、右下前頭回の抑制機能の発達に関与していると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 9 件)

- 1) Y Ohta, Y Ishii, S Ikudome, H Nakamoto (2014) Warm-up with weighted bat and adjustment of upper limb muscle activity in bat swinging under movement correction conditions. *Perceptual & Motor Skills*, 118(1), 96-113. (査読有). <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24724516>

- 2) S Ikudome, H Nakamoto, S Mori (2013) Visuo-motor process of movement correction in interceptive action. *NeuroReport*, 24(16), 879-883. (査読有). doi: 10.1097/WNR.000000000000010
- 3) H Nakamoto, S Ikudome, K Yotani, A Maruyama, S Mori (2013) Fast-ball sports experts depend on an inhibitory strategy to reprogram their movement timing. *Experimental Brain Research*, 228(2), 193-203. (査読有)
- 4) S Ikudome, H Nakamoto, S Mori (2013) Effect of practice with within-trial and inter-trial velocity changes on movement correction under various novel target velocities. *International Journal of Sport and Health Science*, 11, 39-48. (査読有). doi: 10.5432/ijshs.201220
doi: 10.1007/s00221-013-3547-8.
- 5) S Ikudome, H Nakamoto, H Kanehisa, S Mori (2012) Influence of practice with within-trial and inter-trial changes of target velocity in improving movement correction. *Perceptual & Motor Skills*, 115(3), 903-917. (査読有). <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23409602>
- 6) H Nakamoto, Y Ishii, S Ikudome, Y Ohta (2012) Kinesthetic aftereffects induced by a weighted tool on movement correction in baseball batting. *Human Movement Science*, 31(6), 1529-1540. (査読有). doi: 10.1016/j.humov.2012.04.005.
- 7) 幾留沙智, 中本浩揮, 森司朗 (2012) 予期の不確実性が運動修正の学習に与える影響. *九州体育・スポーツ学研究*, 27(1), 1-8. (査読有). <http://webpages.ihs.kyushu-u.ac.jp/ktsm/27-1.pdf>
- 8) H Nakamoto, S Mori (2012) Experts in fast ball sport reduce anticipation timing cost by developing inhibitory control. *Brain & Cognition*, 80(1), 23-32. (査読有). doi: 10.1016/j.bandc.2012.04.004.
- 9) 中本浩揮 (2011) スポーツ選手が心で「みる」世界～打球運動の場合～. *トレーニング科学*, 23(2), 113-120. (査読無). <http://trainings.jp/ronbun.cgi?kid=1076&rid=3>

〔学会発表〕(計 7 件)

- 1) 幾留沙智, 中本浩揮, 畝中智志, 森司朗 ターゲット速度の試行間変化に対する運動修正メカニズムの検討 内部フィードバックループの貢献. 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
- 2) 太田洋一, 中本浩揮, 石井泰光, 幾留沙智, 高橋恭平, 島典広; 野球選手の標的速度変化に対するタイミング制御能力について. 日本体育学会第64回大会,

2013年8月28日, 立命館大学

- 3) S Ikudome, H Nakamoto, S Mori; The contribution of internal forward model on online correction during interceptive action. North American Society for the Psychology of Sport and Physical Activity, USA, Hawaii, June 8 2012.
- 4) H Nakamoto, S Ikudome, M Ishihara, K Imanaka, S Mori; Expert batters' anticipation of the future location of fast-moving objects. North American Society for the Psychology of Sport and Physical Activity, USA, Hawaii, June 8 2012.
- 5) 幾留沙智, 森司朗, 中本浩揮; 運動修正の獲得に関わる試行内および試行間変化についての検討. 日本スポーツ心理学会第38回大会, 2011年10月10日, 日本大学
- 6) 幾留沙智, 森司朗, 中本浩揮; 環境変化に対する柔軟な運動調整を可能にする学習方略の検討. 日本体育学会第62回大会, 2011年9月26日, 鹿屋体育大学
- 7) 中本浩揮, 石井康光, 太田洋一, 高橋恭平, 幾留沙智; 重いバットでの素振りが打撃時のタイミング制御に及ぼす影響. 日本体育学会第62回大会, 2011年9月26日, 鹿屋体育大学

〔その他〕

大学ホームページ

<http://www.nifs-k.ac.jp/property/researchers/syllabary/05/000447.html>

研究室ホームページ

<http://kanoya-sport-psychology.jimdo.com/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中本 浩揮 (NAKAMOTO HIROKI)

鹿屋体育大学・体育学部・講師

研究者番号: 10423732