

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 21 日現在

機関番号：17702

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26750269

研究課題名(和文)超短潜時の打球運動における素早い修正に関する中枢メカニズムの検討

研究課題名(英文)Examination of neural mechanisms for rapid adjustment of movement timing in brief interceptive actions

研究代表者

幾留 沙智(Ikudome, Sachi)

鹿屋体育大学・スポーツ人文・応用社会科学系・助教

研究者番号：20724818

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：スポーツではしばしば、予想と異なる運動の遂行が要求される。本研究は、特に素早く正確な修正が必要となる打球運動を対象として、事前の予想が外れた際の素早い修正に関わる中枢メカニズムを解明することを目的とした。結果として、350ms程度で完了するような短潜時運動の修正が予測感覚情報を利用することによって実現されること、予測感覚情報の生成は動作開始直前の補足運動野の働きによって達成されること、一方で、補足運動野は動作開始後には素早い運動修正に関する役割を担っていないことが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：In sports settings, people are often required to perform movements that they are unprepared for, owing to continuously changing circumstances. This study examined the neural mechanisms associated with rapid adjustment of interceptive actions in response to inter-trial changes in target velocity. The main findings were as follows: 1) the rapid adjustment of brief interceptive actions completed within 350 ms was accomplished by using predicted sensory consequence of movement (pSCM) information; 2) the pSCM information for rapid adjustment was generated in the supplementary motor area just prior to movement onset; 3) after movement onset, the supplementary motor area did not play an important role in the rapid adjustment of interceptive actions.

研究分野：スポーツ心理学

キーワード：捕捉行為 運動修正 予測感覚情報 経頭蓋磁気刺激 補足運動野

## 1. 研究開始当初の背景

スポーツでは、予想とは異なる運動の遂行が要求される場面がしばしばある。例えば野球やテニスにおける打球運動では、移動標的(ボール)の飛球時間が約 0.5 秒であるのに対して、視覚情報処理にかかる時間は約 0.1 秒であるため、予め移動標的の速度や方向を予測し、それに基づいて運動を先回りして開始する。そのため、予測が外れてしまった場合には予測的に開始した運動を素早く修正することが要求される。

このような素早い運動修正の遂行に利用される情報源として、近年、運動開始前に大脳皮質の補足運動野という領域で生成される予測感覚情報が明らかにされている (Ikudome et al., 2013)。つまり、素早い運動修正は、実際の視覚情報のみならず「運動を遂行することでこのような感覚が得られるであろう」といった予測情報の利用によって可能になっているといえる。このような修正についてより詳細に検討していくことは、様々なスポーツにおいて必要不可欠である柔軟な運動修正能力を向上させるための練習方法を考えていくうえでも重要であると考えられる。

## 2. 研究の目的

本研究は、事前の予測が外れた際に行われる打球運動の素早い修正に関わる中枢メカニズムを解明することを目的とした。具体的には、素早い修正を達成するための情報源として近年その貢献が明らかにされている予測感覚情報の利用に関して、より短時間で完了する運動の修正に対する貢献の有無、及び、予測感覚情報が生成されるタイミングについて検討を行った。

## 3. 研究の方法

(1) より短時間で完了する運動の修正に対する予測感覚情報の貢献に関する検討

### ① 実験課題

実験参加者は、ルール上を向かってくる光刺激がルール終点に到達するタイミングに合わせて肘を伸展し、スイッチを押すという打球運動を模した課題を実施した (図 1)。これまでに対象とされてきた運動 (約 0.5 秒) よりも短時間で完了する運動を対象とするため、光刺激の速度は、出現から終点到達までの時間が 0.5 秒の低速条件、及び、0.33 秒の高速条件の 2 種類を使用した。各セット内では両速度がランダムな順序で呈示された。



図 1. 打球運動を再現した実験課題

なお、両速度の呈示確率は低速 20%-高速 80%、低速 50%-高速 50%、低速 80%-高速 20% のように、セット間で異なっていた。

### ② 実験手続き

各セット開始前に実験参加者は、両速度の呈示確率を教示された。本研究において用いた課題は、光刺激の呈示時間が短く時間的制約が厳しいことから、タイミングよく動作を遂行するためには、予測的に動作を開始する必要がある。そのため、呈示確率が 20% の速度に対しては、事前の予測が外れ、運動の修正が必要とされやすい状況であった。

1 セットは 30 試行で構成され、光刺激の呈示確率が異なる 3 種類のセット (低速 20%-高速 80%、低速 50%-高速 50%、及び低速 80%-高速 20%) を各 4 回、合計 12 セット実施した。4 回のうち 2 回は TMS 条件、残り 2 回は Sham 条件であった。両条件とも、実験参加者の補足運動野に対し、光刺激出現の瞬間に経頭蓋磁気刺激を用いて磁気刺激を提示したが、Sham 条件ではコイルを 90 度回転させることにより実際には磁気刺激が与えられていなかった。条件の実施順序は実験参加者間でカウンターバランスを行った。

### ③ 測定項目

運動修正に対する磁気刺激の影響を検出するために、パフォーマンス指標としてタイミング誤差 (光刺激到達とスイッチを押した瞬間の時間的誤差) を測定した。またキネマティクス指標として、動作時間を測定した。

(2) 予測感覚情報が生成されるタイミングについての検討

### ① 実験課題

実験参加者は、打球運動を模した実験室課題を実施した (図 1)。2 種類の光刺激 (低速及び高速) が各セット内でランダムな順序で呈示され、呈示回数の内訳は、低速 20 試行及び高速 10 試行であった。

### ② 実験手続き

次試行で呈示される光刺激の速度は試行毎にモニターに表示され、実験参加者は各試行開始前に確認することが可能であった。しかし、低速 20 試行のうち 5 試行においては、「高速」という誤教示が表示されたため、事前の予測が外れ、運動の修正が必要とされやすい状況であった。

1 セットは 30 試行で構成され、練習試行として 10 セット (1 日目)、その後本番試行として 6 セット (2 日目) の合計 16 セットを実施した。練習試行では、試行毎にタイミング誤差についてのフィードバックを与え、安定したパフォーマンスを発揮できるよう練習を行わせた。

翌日の本番試行 6 セットにおいては誤差に関するフィードバックは与えず、半数のセットは TMS-SMA 条件、残りの半数は TMS-M1 条件として実施した。両条件において、練習試行における各実験参加者の動作開始時間 (反応時間) を元に動作開始 100ms 前、動作

開始時点、動作開始後 100ms という 3 つの異なるタイミング (各 1 セット) で磁気刺激を提示した。磁気刺激を提示した部位は、TMS-SMA 条件では補足運動野、TMS-M1 条件では左運動野であった。

### ③測定項目

運動修正に対する磁気刺激の影響を検討するために、運動のタイミングを修正することができた程度を示す  $\Delta E\%$  (Teixeira et al., 2005) を算出した。

## 4. 研究成果

(1) より短時間で完了する運動の修正に対する予測感覚情報の貢献に関する検討

### ①動作時間の確認

Sham 条件及び TMS 条件における動作時間を算出した結果、それぞれ、低速に関しては  $359.6 \pm 55.26\text{ms}$  及び  $343.3 \pm 53.75\text{ms}$  (平均  $\pm$  標準偏差)、高速に関しては  $287.6 \pm 102.99\text{ms}$  及び  $277.7 \pm 99.36\text{ms}$  であった。2 要因分散分析 (速度  $\times$  条件) の結果、速度の主効果が有意であった ( $F(1, 9) = 9.48, p < .05, \eta^2 = .51$ )。つまり、両光刺激に対して遂行された運動は、これまでに検討されてきた運動 (約 0.5 秒) よりも短く、さらに高速の光刺激に対しては低速よりも有意に短い運動が要求されていたといえる。

### ②磁気刺激の影響

図 2 は、両速度に対するタイミング誤差を呈示確率毎に示している。3 要因分散分析 (速度  $\times$  確率  $\times$  条件) の結果、速度  $\times$  確率の交互作用が有意であった ( $F(2, 24) = 54.35, p < .01, \eta^2 = .82$ )。これより、両速度とも、20% に対する誤差が 50% 及び 80% と比較して正又は負方向に有意に大きく、つまり、呈示確率が 20% の場合、事前に準備した動作の修正が要求されていたことが明らかとなった。

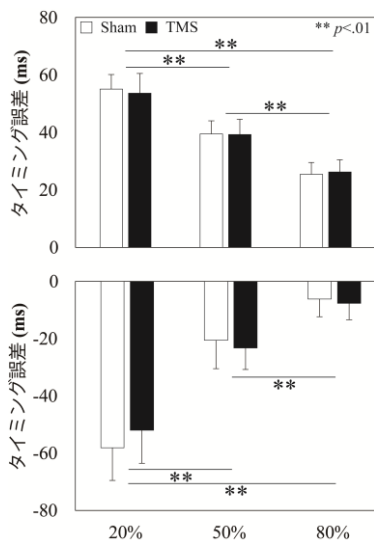


図 2. 両速度に対するタイミング誤差 (上段: 高速, 下段: 低速)

一方で、磁気刺激によるパフォーマンスの変化は両速度とも認められなかった。そこでよ

り詳細に磁気刺激の影響を検討するために、まずは TMS 条件の誤差から Sham 条件の誤差を除いた値を算出した。さらに、各実験参加者の動作開始時間の違いによって磁気刺激の提示タイミングに差が生じたため、100ms 毎に分類し、比較を行った (図 3)。

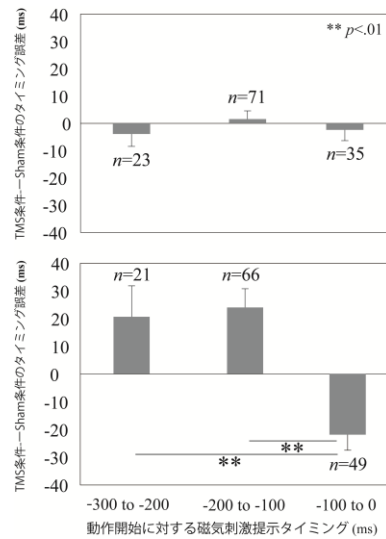


図 3. 磁気刺激提示タイミングによるタイミング誤差の変化 (上段: 高速, 下段: 低速)

結果として、高速に対しては、提示タイミングを考慮した場合であっても磁気刺激による影響は示されなかった。一方で、低速に対しては、動作開始前 100ms から動作開始までに磁気刺激が提示された場合には、磁気刺激によって負方向に誤差が増大していたことが示された。

つまり、これまで報告されてきた 500ms 程度の運動 (Ikudome et al., 2013) より短い運動に関しても予測感覚情報の利用によって運動の修正が可能となるが、一方で 300ms 以下の運動の場合には修正が可能とならないことが明らかとなった。

(2) 予測感覚情報が生成されるタイミングについての検討

これまでの検討より、予測感覚情報を利用した運動修正が可能であると示された低速のみを対象として、教示内容の違いによるタイミング誤差を図 4 に示した。

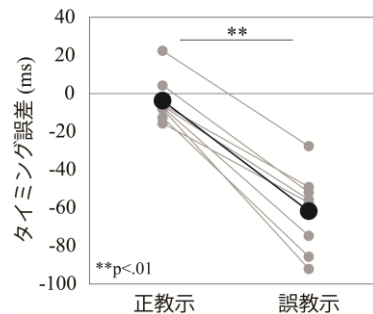


図 4. 教示内容の違いによるタイミング誤差の比較

対応のない t 検定の結果、誤教示が与えられた場合は正教示が与えられた場合よりも有意にタイミング誤差が負方向に増大していることが明らかとなった ( $t(7)=10.81$ ,  $p<.01$ )。つまり、誤教示が与えられた場合、事前に準備した運動の修正が要求されていたといえる。

そこで、誤教示が与えられた試行におけるタイミング誤差について条件間で比較を行った (図 5)。その結果、動作開始前 100ms または動作開始時に磁気刺激が提示された場合、TMS-M1 条件よりも TMS-SMA 条件において  $\Delta E\%$  が低下する傾向が示された。Sham 条件を用いた検討では、TMS 条件におけるタイミング誤差の増加が磁気刺激を提示したこと自体によるものである可能性を完全には棄却することができなかった。しかし、他の領域に磁気刺激を提示した場合と比較してパフォーマンスの低下がみられたという本実験の結果は、動作開始前 100ms から動作開始までの間に補足運動野において生成される予測感覚情報が素早い修正に利用されていることをより強く支持するものであるといえる。

一方で、磁気刺激の提示タイミングが動作開始後 100ms であった場合にはパフォーマンスの低下は示されなかった。これより、予測感覚情報を利用した運動の素早い修正に対する補足運動野の関与は動作開始時点までであることが明らかとなった。

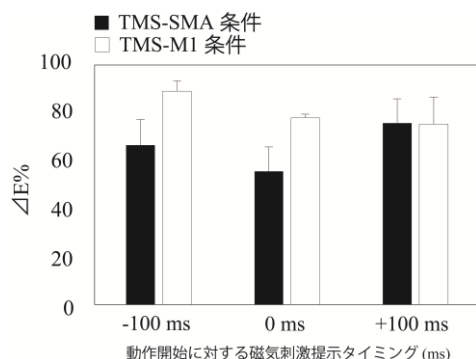


図 5. 条件間の  $\Delta E\%$  の比較

しかしながら、本実験の結果は条件間で動作開始時間が大きく変化することのなかった 3 名という限られた実験参加者によって得られたものである。条件間で動作開始時間が変化していた者は、どの提示タイミングであっても磁気刺激によるパフォーマンスの低下は示されなかった。Ijiri et al. (2015) は、打球運動のような捕捉行為におけるタイミング調整方略として動作時間の長さを調整する Duration control と動作開始時間の長さを調整する Onset control の 2 種類が存在することを報告している。本実験の結果も同様に 2 種類の調整方略の存在を支持しており、さらに、磁気刺激による影響の有無より、Duration control のような素早いタイミング

調整において予測感覚情報が利用されることが示唆された。しかしながらこの点については、より多くの実験参加者からデータを収集して検証していく必要があるといえる。

以上より、予測感覚情報に基づく素早い運動修正は 300ms 以上の運動の場合に可能となり、その実行に対して動作開始直前の補足運動野の働きが貢献していることが明らかとなった。これらより、予測感覚情報とは異なる運動が実際には要求されるような試行間の環境変化を反復する練習過程が運動修正能力の向上に効果的であると推察される。

## 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 1 件)

1. S. Ikudome., H. Nakamoto., K. Yotani., S. Unenaka., S. Mori. (2015) Potential of rapid adjustment of brief interceptive action using predicted information. *Brain and Cognition*. 97:51-58. 査読有.

[学会発表] (計 3 件)

1. S. Ikudome., H. Nakamoto., & S. Mori. (2016) Timing adjustment strategies in football kicking using body movement. *North American Society for the Psychology of Sport and Physical Activity*, June 18, 2016, Montreal (CANADA).
2. S. Ikudome., H. Nakamoto., & S. Mori. (2015) Role of the supplementary motor area in rapid adjustment of brief interceptive action using predicted information. *North American Society for the Psychology of Sport and Physical Activity*, June 5, 2015, Portland (USA).
3. S. Ikudome., H. Nakamoto., S. Unenaka., & S. Mori. (2014) Role of predicted information in rapid adjustment of brief interceptive action. *North American Society for the Psychology of Sport and Physical Activity*, June 13, 2014, Minneapolis (USA).

[その他]

ホームページ等

<http://www.nifs-k.ac.jp/property/upload/25-3-15SachiIkudome.pdf>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

幾留 沙智 (IKUDOME Sachi)

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：20724818