

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年6月1日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2012

課題番号：22650140

研究課題名（和文） 運動試技の観察・予測時における大脳 - 小脳機能連関と言葉によるコーチングの神経基盤

研究課題名（英文） Cerebral and cerebellar activations when predicting the movement state and receiving verbal coaching in sports

研究代表者

柳原 大 (YANAGIHARA DAI)

東京大学・大学院総合文化研究科・准教授

研究者番号：90252725

研究成果の概要（和文）：身体運動の表象には大脳皮質頭頂連合野、運動前野、さらに小脳皮質などが関与していると考えられているが、この表象に関わる神経基盤は自己および他者の動作の予測においても重要な役割を果たしていると考えられている。本研究においては、走り高跳び競技に着目し、あらかじめ撮影した自分や他人の試技を見た際の脳活動に関して機能的核磁気共鳴画像法を用いて解析した結果、小脳皮質に脳血流量の顕著な増加が観察され、また、指導者から言葉によるコーチングを受けている際にも脳血流量の増加が観察された。

研究成果の概要（英文）：Sports performance involves the ability to predict the consequences of one's own and others actions in sports scenarios, as well as the ability to perform skilled movements and posture. It has been proposed that the cerebellum has been involved in not only current state estimation but also upcoming state prediction, in cooperation with the cerebral cortex. We investigate neural activities during predicting the consequences of the movements and receiving verbal coaching, using functional magnetic resonance imaging.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,500,000	0	1,500,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	2,900,000	420,000	3,320,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学・身体教育学

キーワード：小脳、運動スキル、予測、コーチング、走り高跳び

1. 研究開始当初の背景

スポーツにおける俊敏で巧みな動作の遂行には神経系が重要な役割を果たしている。一流選手の見まねで理解したはずの動きを未熟練者が行おうとしても簡単にはいかな

いが、その動作は長い年月を試行錯誤して作り上げられた運動の中枢性プログラムによるものであり、それは脳において作製され、記憶されている。近年、筋・骨格系や操作対象物の入出力関係を表現した内部モデルの

存在が明らかにされつつあり、運動スキルはこの内部モデルの機能を反映しているといえるかもしれない。運動の内部モデルは小脳にそのシナプス可塑性を基盤として形成されると考えられているが、その内部モデルを動作の予測に利用する際には運動前野や頭頂連合野との機能連関（大脳 - 小脳機能連関）が重要であると推測されている。ところで、従来までの研究ではスポーツ競技の動作に特異的に関与する脳活動、とりわけ大脳 - 小脳機能連関について明らかにしたものはない。また、指導者が選手を指導する際には、ほとんどは言葉による教示に依存し、選手がそれを正しく理解できるかどうかパフォーマンスおよび技術の上達に大きく影響するが、指導者から言葉で教示された際の選手の脳活動についても明らかではない。

2. 研究の目的

本研究では陸上競技の走り高跳びをとりあげ、走り高跳びの跳躍の助走から踏切までの動画を見て、その後の跳躍が成功したか失敗したかを予測・判断する際の脳活動について機能的核磁気共鳴画像法 (functional Magnetic resonance imaging: fMRI) を用いて調べ、競技経験の有無がその脳活動にどのような差異をもたらすか調べた (実験 1)。さらに、実際の競技の場、あるいは日々の練習の現場において、競技者は、外在的フィードバックとなる指導者からの様々な手段による指導を受ける。指導内容の伝達手段としては、具体的に動作を表現する、またはオノマトペなどの言葉による「言葉がけ」を手段とした伝達、指導者による示範やその他の映像を用いた視覚情報による伝達、器具を補助的に利用しての筋固有感覚的伝達などがある。このなかでも、指導者からの言葉がけが競技者に対して重要な役割を果たすことは多くの研究ですでに確認されている。そこで、競技の指導の現場において、競技者に対して指導者がどのような言葉で指導・コーチングするのが有効なのかについて神経生理学的知見を得るために、自分の試技の動画を見ている際に指導者から言語がけによる教示を与え、その際の脳活動について調べた (実験 2)。

3. 研究の方法

(1) 実験 1

①被験者

過去に長期の運動の経験を有しない一般健康者 15 名 (年齢 21.7 ± 2.0 歳、以下未経験者) と走り高跳びの熟練男性競技者 17 名 (年齢 21.4 ± 1.2 歳、記録 $206.9 \text{ cm} \pm 7.5 \text{ cm}$ 、以下競技者) を対象とした。fMRI 実験に参加した競技者のうち 2 名を MR 撮像中の体動および課題に対する応答が得られなかったこ

とにより解析対象から除外した。本実験は東京大学の倫理委員会で承認を受け、すべての被験者は書面による実験の説明を受け、同意書により本人の意思による実験への参加について同意をした。

②跳躍試技の動画

競技者に走り高跳びの自己記録の 90% ~ 95% の高さ (180cm ~ 205cm) での跳躍を行わせた。跳躍の助走開始から跳躍を終えマットに着地するまでの試技を、ビデオカメラを用いて撮影した (30frames/s)。撮影の際には、各競技者にとって必ずしも成功する高さではないが、すべての跳躍に関して成功させるように指示を与えた。これらの跳躍の成功、失敗の両方の試技について撮影し、また、助走路をランニングするのみの様子も撮影した。得られた動画のうち、跳ぶ前から明らかに失敗試技と認識できる跳躍の動画は動画編集の際に除き、他の跳躍およびランニングの動画は編集し 3.0 秒 (90frames) の長さにした。この際、跳躍の動画に関しては跳躍の最後の一步の踏切足が地面から離れる瞬間までの助走の動画として編集した。

③試技の成否の予測判断課題と fMRI の撮像及び解析

被験者にはその実験で見ることになる競技者の跳躍の動画の成功例を十分に見せ、その後、fMRI 実験で用いるものとは別の跳躍の動画を用いて課題の練習を行った。それぞれの動画が提示される前に課題開始の合図となる「trial」か「running」が画面に 1 秒間呈示され、その後、跳躍の助走かランニングの動画が 3 回流れる。合図が「trial」のときは跳躍の成功/失敗の予測判断課題で、跳躍の助走の動画が 3 回映し出された後、1.5 秒の間隔をおいて「yes → button1 or no → button2」と画面上に 2.5 秒間呈示される。被験者は跳躍の助走を見て、その跳躍が成功したと思ったら yes のほうのボタンを押し、失敗したと思ったら no のほうのボタンを押し。判断課題では半数が成功跳躍、もう半数が失敗跳躍の動画となっている。合図が「running」のときは解析の際のベースラインとなる無判断課題で、ランニングの動画が 3 回映し出せられた後、1.5 秒の間隔をおいて「press button1」と 2.5 秒間呈示される。

3.0T の MR 装置 (Siemens, Trio) でヘッドコイルは 8 チャンネル フェイズド アレイコイルとし MR 画像を得た。BOLD 信号 (Blood Oxygen Level Dependent signal) は gradient echo-EPI 法 (echo planar imaging) を使い、スライス方向は横断で撮像範囲は頭頂から小脳までの全脳とし、スライス厚を 3mm、スライス枚数を 46 枚として 260 スキャンを行った。脳画像の統計解析には MATLAB と、MATLAB 上で作動するソフトウェアの SPM8 により構築した一般線形モデルを用いた。fMRI の統計

解析で求められた voxel の座標から SPMS8 上で機能する Anatomy toolbox を用い対応する脳部位を特定した。

(2) 実験 2

①被験者

成人男女 18 名(競技経験者群 9 名, 競技未経験者群 9 名, 20-25 歳, 平均 22.2 歳)が被験者として参加した。本研究における競技未経験者とは、走り高跳びの競技に出場した経験は有していないが、大学の授業等で走り高跳びの講習を受けている者であった。全ての被験者には、本研究の目的および研究方法を十分に説明し、実験の危険性および方法について詳細に説明した。また本人の意思により本研究に参加する旨の同意書を得た。本実験は東京大学の倫理委員会および順天堂大学における倫理委員会で承認を受け、すべての被験者は書面による実験の説明を受け、同意書により本人の意思による実験への参加について同意をした。

②実験課題

被験者自身が走り高跳びを行う映像を観察し、その試技に対する指導者からの言葉がけを聴く課題を行った。被験者自身が行う走り高跳びの動画が提示される前に課題開始の合図となる「trial」が画面に 1 秒間映し出され、その後、跳躍試技の映像が 4 秒間流れる。映像の後、黒色の画面が 7 秒から 9 秒間ランダムに設けられ、その後音声刺激が 3 秒間流れた。音声刺激に関して、実際に指導者の協力のもと音声を録音、編集し装置内で被験者に聴かせた。言葉がけの種類については、動作を表す言葉がけ(一例として、“踏み切った後に腕でリードしましょう”)とコントロール条件としての動作を表さない言葉がけ(一例として、“気持ちを落ち着けましょう”)の 2 条件に関して各 4 種類を設定し、合計 8 種類がランダムに各 8 回等しい回数流された。

③ fMRI の撮像及び解析

3.0T の MR 装置 (Siemens, Trio) を用い、MR 画像の撮像および解析は実験 1 と同様な方法で行った。

4. 研究成果

(1) 実験 1 における結果

①跳躍試技の成否の判断課題における正答率

競技者 15 名の正答率の平均は 57.6%、未経験者 15 名の正答率の平均は 53.5%となり、両群間に正答率の有意差が認められた ($p < 0.05$)。

②競技者が未経験者より有意に大きい活動を示した脳領域と未経験者が競技者より有意に大きい活動を示した脳領域

競技者が未経験者よりも活動の増大を示

した領域には、内側の帯状皮質、下前頭回、島、小脳外側半球部であった。一方で、未経験者が競技者よりも有意に大きい活動を示した脳領域は楔前部であった。

(2) 実験 2 における結果

競技経験者ならびに競技未経験者ともに、動作を表す言葉がけ提示条件において、動作を表さない言葉がけ提示条件よりも有意に活動が増加した脳部位は、右下前頭回、頭頂葉、被殻、小脳皮質などであった。

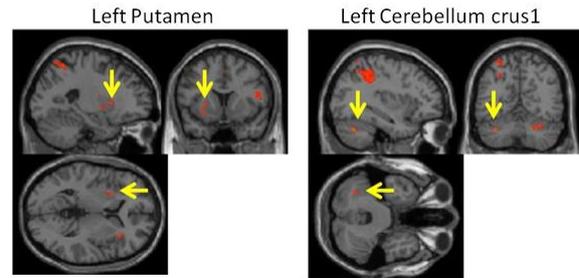


図 1 競技経験者群において動作を表す言葉がけ条件において脳活動が増加した被殻および小脳皮質の典型例

(3) まとめ

本研究では、走り高跳びの跳躍の成否の予測に関わる脳活動に競技経験の有無により差異が生じるのかについて fMRI を用いて調べた。競技者と未経験者を対象に、走り高跳びの跳躍の助走から踏切までの動画を提示し、その跳躍が結果として成功するか失敗するか予測・判断している際に、脳活動と関連のある酸化ヘモグロビン濃度の変化 (BOLD 信号) を調べ、BOLD 信号により推定される脳賦活領域に差異が見られた。競技者群では、下前頭回および小脳皮質外側半球部に有意な活動の増大が認められた。下前頭回はミラーニューロンシステムの一部として観察した動作の表象に関係していると示唆されている領域である。また、小脳皮質には内部モデルが生成されていると考えられている。一方、未経験者では下肢の動作に関連した表象があると考えられている楔前部に活動の増大が認められ、競技経験の有無により脳賦活領域に差異があることが判明した。

さらに、本研究では、指導者からの言葉がけによる指導を受けた際の競技者等の脳活動を調査した。その結果、動作を表す言葉がけを受けた際には、動作を表さない言葉がけの際と比較して小脳皮質外側半球部における活動の増大が認められた。この所見は、運動の内部モデルの生成に関連する小脳皮質が、指導者からの適切な言葉がけ (コーチング) を受けることによって顕著に活性化するというを示唆している。

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)

[学会発表] (計4件)

1. 青野武志、柳原 大、持永 新、越川一紀、青木和浩、花川 隆、佐久間和彦、陸上競技走高跳競技者における指導者からの言葉がけを受けた際の脳活動について、陸上競技学会第11回大会、2012/12/15、国際武道大学(千葉県)

2. Mochinaga, S., Kotajima, H., Hanakawa, T., Yanagihara, D., Neural activity during predicting the performance of high jump in athletes, Society for Neuroscience 41th meeting, 2011/11/15, Washington, DC (USA)

3. 持永 新、古田島浩子、青木和浩、越川一紀、花川 隆、柳原 大、走高跳選手における跳躍試技の認知・予測に関わる脳活動、陸上競技学会第9回大会、2010/12/4、青山学院大学(東京都)

4. 柳原 大、運動の制御、学習・記憶、認知・予測における小脳皮質の役割、日本体育学会第61回大会・運動生理学キーノートレクチャー、2010/9/8、中京大学(愛知県)

[その他] (計2件)

1. 柳原 大、運動スキルの神経科学: 金魚から遺伝子改変動物、トップアスリートへ、中京大学大学院体育学研究科学術講演会、2010/11/18、中京大学(愛知県)

2. 柳原 大、運動・スポーツにおける技の習得と認知・予測に関わる小脳皮質の機能、平成22年度第1回JISS医科学セミナー、2010/6/30、国立スポーツ科学センター(東京都)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

柳原 大 (YANAGIHARA DAI)
東京大学・大学院総合文化研究科・准教授
研究者番号: 90252725

(2) 連携研究者

花川 隆 (HANAKAWA TAKASHI)
国立精神・神経医療研究センター・部長
研究者番号: 30359830
青木和浩 (AOKI KAZUHIRO)
順天堂大学・スポーツ健康科学部・准教授
研究者番号: 60424230
越川一紀 (KOSHIKAWA KAZUNORI)
順天堂大学・スポーツ健康科学部・准教授
研究者番号: 00365561

(3) 研究協力者

持永 新 (MOCHINAGA SHIN)
東京大学・大学院総合文化研究科・広域科学専攻・博士後期課程
青野 武志 (AONO TAKESHI)
順天堂大学・大学院スポーツ健康科学研究科・博士前期課程