

緊張による運動パフォーマンス低下を防ぐことに成功！

～運動や音楽演奏をする際の緊張を抑えるための訓練法としての応用に期待～

【ポイント】

- 緊張による運動パフォーマンス低下と背側帯状回皮質の活動の相関関係を発見
- 背側帯状回皮質への経頭蓋磁気刺激(TMS)によって運動パフォーマンス低下の抑制に成功
- 運動や音楽演奏をする際の緊張を抑えるための訓練法としての応用に期待

国立研究開発法人情報通信研究機構(NICT、理事長: 徳田 英幸)脳情報通信融合研究センター(CiNet)の春野雅彦研究マネージャー、源健宏協力研究員、フランス国立科学研究センター(CNRS)のガネッシュ・ゴウリシャンカーシニア研究員の研究グループは、緊張による運動パフォーマンスの低下のメカニズムを調べるための課題を考案し、fMRI^{*1} 実験によって被験者の運動パフォーマンス低下と背側帯状回皮質^{*2} の活動が相関することを発見しました。さらに、背側帯状回皮質に対する経頭蓋磁気刺激法(TMS)^{*3} で脳活動を抑えることにより、この運動パフォーマンス低下を防ぐことに成功しました。今回の結果は、緊張による運動パフォーマンス低下と背側帯状回皮質の脳活動の間の因果関係を初めて証明するものです。今後は、運動や音楽演奏の際の緊張を抑えるための訓練法としての応用も期待されます。本成果は、2019年9月19日(木)18時(日本時間)に、英国科学雑誌「Nature Communications」にオンライン掲載されます。

【背景】

スポーツや楽器演奏など高速で複雑な運動(系列運動)のパフォーマンスが緊張で低下することは、一般人とトッププロの区別なく、誰もが経験します。スポーツ科学の分野では、学習で一度は自動化(無意識化)された各運動間の流れ(運動要素)に対する注意が緊張によって増加し、その運動要素が再び意識されて干渉が生じることで、運動パフォーマンスが低下するとされます(自己焦点付けモデル)。しかし、このモデルを証明する行動や脳のデータは存在せず、そのため、緊張による運動パフォーマンス低下を防ぐ方法も知られていませんでした。

【今回の成果】

今回、研究グループは、緊張による系列運動のパフォーマンス低下を定量的に調べる課題を新たに考案し、fMRI と TMS を用いることで、緊張による系列運動のパフォーマンス低下と背側帯状回皮質の脳活動の間の因果関係を初めて証明し、さらに、緊張による運動パフォーマンス低下を抑制することに成功しました。

一般的に、テニスやピアノ演奏など運動を覚える際には、まずパーツを練習し、後で繋ぎ合わせます。今回、NICT は、この過程をモデル化し、長さ 10 のボタン押しを高速で行う際に、長さ 6 と 4 の 2 つの部分系列に分けて覚える人(part-learners)と長さ 10 の全体を一度に覚える人(single-learners)に分け、さらに、覚えた後に失敗すると電気刺激が与えられるテストセッションを課すという課題を考案しました。まず、この課題を行動実験として実施し、次に、fMRI の中で、同じようなテストセッションのある課題を実施しました(図 1A 参照)。

その結果、両方の実験で、全く同様に、

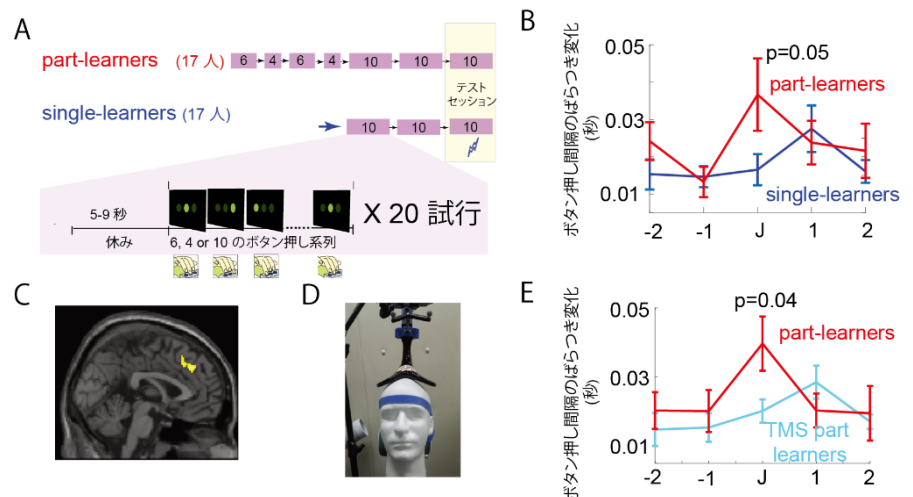


図 1 緊張による運動パフォーマンスの低下と背側帯状回皮質の活動

part-learners は学習が進むと部分系列の繋ぎ目でのボタン押し間隔時間のばらつきが減り、single-learners よりもボタン押しが速く正確になりました。しかし、緊張を伴うテストセッションが始まると、図 1B に示すように、part-learners による部分系列の繋ぎ目(図 1B 中の J 参照)でのボタン押し間隔時間のばらつきは再び増加しました。つまり、自己焦点付けモデルで言われるとおり、緊張のあるテストセッションでは part-learners の運動パフォーマンスは再び低下しました。

次に、fMRI で part-learners のテストセッションでの繋ぎ目におけるボタン押し時間の遅れと関連する活動を示す脳部位を探したところ、背側帯状回皮質が同定されました(図 1C 参照)。

最後に、テストセッションの直前に背側帯状回皮質に対し TMS(1Hz 図 1D 参照)を 5 分間繰り返し行って脳の活動を抑制した TMS part-learners と、実際には刺激を与えない Sham part-learners を比較する実験を行いました。その結果、TMS part-learners では、緊張によるパフォーマンス低下が見られなくなりました(図 1E 参照、詳細は補足資料参照)。

今回の実験結果は、従来メカニズムが不明であった緊張による運動パフォーマンス低下の原因が、背側帯状回皮質にあることを初めて証明したものであり、さらに、TMS によって運動パフォーマンスの低下を防げることを示しています。

【今後の展望】

今回新たに発見した緊張による運動パフォーマンス低下と背側帯状回皮質の関係を更に深く理解するとともに、TMS によって実際のスポーツ選手や音楽演奏家の運動パフォーマンス低下を低減できるかを検証します。

<掲載論文>

掲載誌: *Nature Communications*

DOI: 10.1038/s41467-019-12205-6

URL: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12205-6>

掲載論文名: Activity in the dorsal ACC causes deterioration of sequential motor performance due to anxiety

著者名: Ganesh Gowrishanker, Takehiro Minamoto, Masahiko Haruno

共著者の情報

フランス国立科学研究センター シニア研究員 Ganesh Gowrishanker

<プロジェクト>

本研究の一部は、JST 戦略的創造研究推進事業チーム型研究(CREST)「人間と調和した創造的協働を実現する知的情報処理システムの構築」研究領域における研究課題「社会脳科学と自然言語処理による社会的態度とストレスの予測」(研究代表者: 春野雅彦)、科学研究費補助金 新学術領域研究「脳情報動態を規定する多領域連関と並列処理」の一環として行われました。

< 本件に関する問い合わせ先 >

国立研究開発法人情報通信研究機構
脳情報通信融合研究センター
脳情報工学研究室
春野 雅彦
Tel: 080-9098-3239
E-mail: mharuno@nict.go.jp

< 広報 >

広報部 報道室
廣田 幸子
Tel: 042-327-6923
Fax: 042-327-7587
E-mail: publicity@nict.go.jp

<用語解説>

*1 fMRI (functional Magnetic Resonance Imaging)

機能的磁気共鳴法。核磁気共鳴現象を利用して神経活動に伴う脳の血流(酸素化・脱酸素化ヘモグロビン濃度)変化を測定する手法のことを指す。被験者を傷つけることなく非侵襲的に脳活動度を調べることができる。

*2 背側帯状回皮質

背側帯状回皮質は、脳の部位の 1 つで、行動の目標に向け脳のリソースを割り振る認知制御や、競合・結果のモニタリング、社会行動に関与することが知られている。背外側前頭前野や扁桃体との神経結合を持ち、認知、情動の両面の機能を持つ。

今回の研究結果では、part-learners において一度自動化された要素運動が緊張によって再び意識的に処理されるプロセスに認知制御が関与し、自己焦点付けモデルの脳内基盤の 1 つとして背側帯状回皮質が特定された。このことは、通常、運動パフォーマンスを向上させる方向に働く認知制御がマイナスにも作用し得ることを示唆する結果である。

背側帯状回皮質(ブロードマン 32 野)の場所を図 2 に、他の脳部位の相対的な位置関係を図 3 に示す。

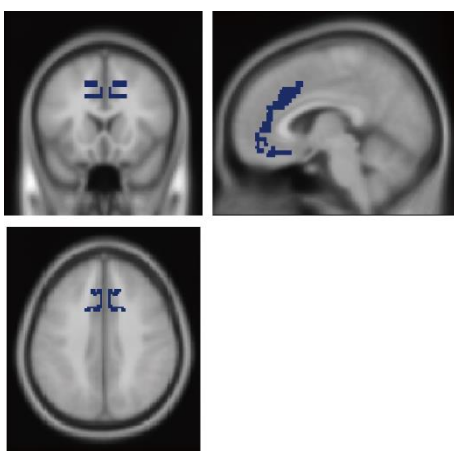


図 2 背側帯状回皮質の場所

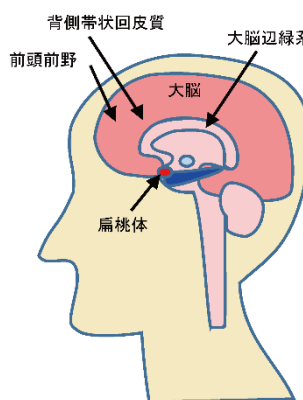


図 3 背側帯状回の相対的位置

*3 経頭蓋磁気刺激法 (Transcranial Magnetic Stimulation)

経頭蓋磁気刺激法は、TMS と略され、おもに 8 の字型の電磁石によって生み出される、急激な磁場の変化によって弱い電流を組織内に誘起させ、脳内のニューロンを興奮させる非侵襲的な方法である。この方法により、脳活動に対する不快感を最小限に抑えながら、脳の回路接続の機能が調べられる。

1Hz の反復 TMS はその部位の脳活動を低下させるという知見が知られており、頭痛、パーキンソン症候群、ジストニア、最近では薬効の出ないうつ病の有効な治療法であることが示されている。

今回研究グループが用いた double-cone コイル(双円錐型 図 4 参照)は、通常の 8 の字型よりも深い、脳表から 3 センチメートル程度の部位の刺激が可能である。

TMS の安全性については、2009 年に国際臨床神経生理学会から磁気刺激法の安全性に関するガイドラインが発表され、日本でも 2011 年に日本臨床神経生理学会から翻訳版が発表されている。この中で、反復 TMS については、刺激頻度は 10Hz まで、刺激強度が運動野安静時閾値の 1.2 倍までであれば、1 週間当たり 15,000 発までの刺激では安全と設定されている。

本研究では、1Hz、刺激強度が運動野安静時閾値の 1.2 倍、320 発の 1 回限りというガイドラインの基準内で安全性の高い範囲で実験を実施した。



図 4 TMS に使う double-cone コイル

今回の実験と結果の詳細

今回の研究では、実験 1(行動)、実験 2(fMRI)、実験 3(TMS)の 3 つの実験を行い、fMRI と TMS を用いることで、緊張による系列運動のパフォーマンス低下と背側帯状回皮質の脳活動の間の因果関係を初めて証明しました。以下に、詳細を説明します。

[実験 1 行動]

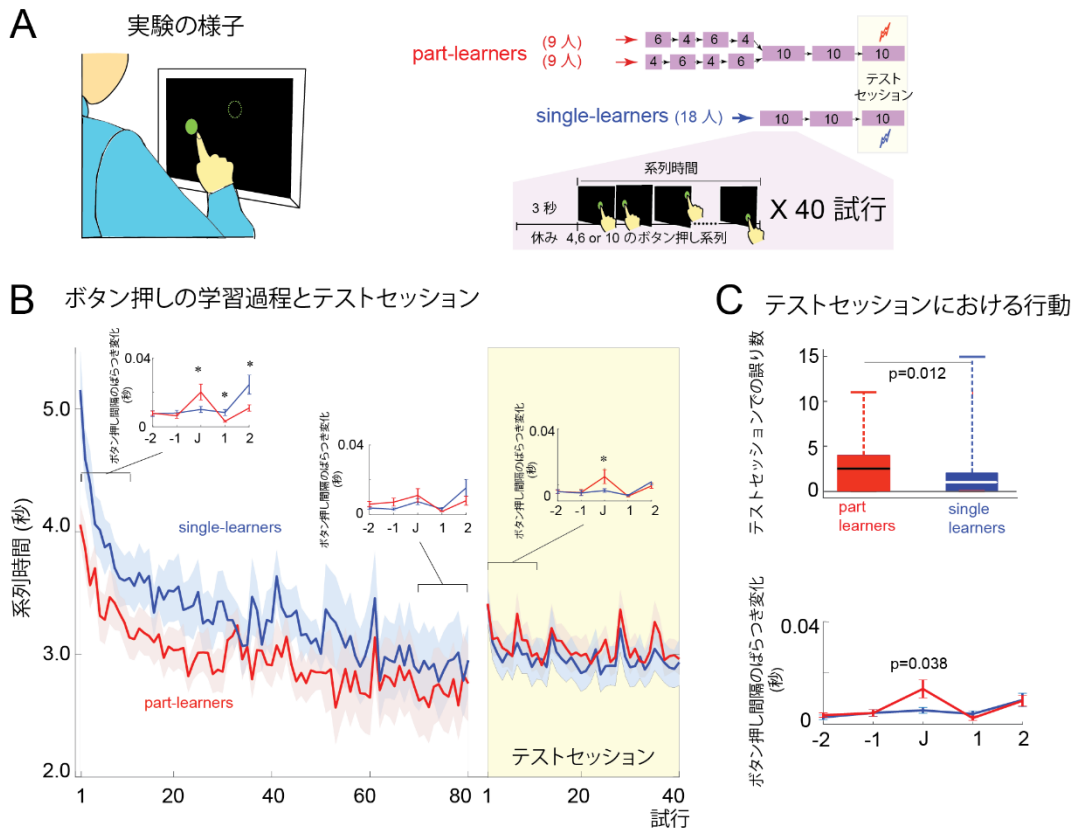


図 5 実験 1(行動実験)の内容と結果

テニスやピアノ演奏など運動を覚える際には、まずパーツを練習し、後で繋ぎ合わせます。この過程をモデル化する課題を考案し、18 人の被験者に参加してもらいました。この実験で被験者は、タッチパネル上に順番に現れる長さ 10 のボタン押しを高速で行いますが(図 5A 参照)、長さ 6 と 4 の 2 つの部分系列に分けて覚え、後でこの部分系列を繋ぐ人(part-learners)と、長さ 10 の全体系列を一度に覚える人(single-learners)に分けます。part-learners が部分系列を 2 セット(1 セットは 40 試行)繰り返して練習し、その後で両者を繋げた全体系列を 2 セット練習するのに対し(図 5A 参照)、single-learners は初めから長さ 10 の全体系列を 2 セット練習します。その後、ボタンを押す間隔を遅くする、あるいはボタン押しが遅いという失敗をすると、電気刺激が与えられるテストセッションを課しました。長さ 10 の全体系列を押す時間を系列時間とし、最後の練習セッションにおける平均系列時間の 1.5 倍以上の時間が掛かると失敗としました。電気刺激の強さは、1 回なら大丈夫だが 3 回続けて受けると辛い強さを被験者ごとに設定しました。18 人の被験者には、2 種類の系列を準備し、順番はランダム化した上で、part-learners と single-learners の両方をやってもらいました。

図 5B に part-learners と single-learners の系列時間の変化を示します。学習中(1~80 試行の間)は、一貫して part-learners の系列時間が single-learners のそれより短いことがわかります。これに対し、失敗すると電気刺激を受けるテストセッションに入った瞬間、part-learners の系列時間が single-learners のそれより長くなっています。このことは、テストセッションでは part-learners の成績が悪くなることを意味します。

次に、より詳細に間違いの起こる場所を見るため、系列のある場所でのボタン押し間隔(時間)のばらつきを見ます。成績が良いときは、いつも短い時間でボタン押しができるので、ばらつきは小さくなり、逆に、成績が悪いときは、ばらつきが大きくなります。図 5B、C において、J は 2 つの系列の繋ぎ目、'-1'、'-2'は繋ぎ目より前のボタン押し、'1'、'2'は

逆に繋ぎ目より後のボタン押しを意味します。学習中とテストセッションのばらつきを見ると、学習初期では、part-learners は、系列の繋ぎ目で大きなばらつきを示しましたが、学習が進んでくると、この繋ぎ目におけるばらつきは見られなくなります。このことは、運動が自動的になったことを示唆します。しかしながら、テストセッションに入ると、part-learners は、再び繋ぎ目においてばらつきを示すようになりました。このことは、学習で一度は自動化(無意識化)された運動要素に対する注意が緊張によって増し、その運動要素が再び意識されて干渉が生じることで、運動パフォーマンスが低下すると考える自己焦点付けモデルの考え方と非常によく合います。実際に、テストセッションにおける誤り数は、part-learners が single-learners よりも有意に多く、ボタン押し時間のばらつきは繋ぎ目(J)のみで生じています(図 5C 参照)。

実験 1 の結果から、(1)緊張による系列運動のパフォーマンス低下は練習(学習)の仕方に依存すること、(2)part-learners の運動パフォーマンス低下のパターンは自己焦点付けモデルとよく合うこと、(3)本課題における緊張による系列運動のパフォーマンス低下は系列の繋ぎ目に限局すること、の 3 点が明らかになりました。

[実験 2 fMRI]

実験 1 で確立した緊張による系列運動のパフォーマンス低下の脳内メカニズムを調べるため fMRI 実験を行いました。

用いる課題は実験 1 と同じですが、体の動きを避けるため、タッチパネルを使った到達運動ではなく、3 つのキーを使った長さ 10 のボタン押しを使ったこと、part-learners (17 人) と single-learners (17 人) は別の被験者であること、1 セッションを 20 試行としたことが異なります(図 6A と図 6B 参照)。

実験 2 の結果は、実験 1 と全く同様に、テストセッションにおいて、part-learners の誤り数は single-learners より多く、part-learners は繋ぎ目 J においてボタン押し間隔のばらつきの上昇を示しました(図 6C 参照)。

このとき、テストセッションでの繋ぎ目 J におけるボタン押し時間の遅れと相関する活動を示す脳部位を探したところ、背側帯状回皮質が同定されました(図 6D 参照)。この繋ぎ目 J における背側帯状回皮質の活動は、part-learners が single-learners より大きく(図 6E 参照)、さらに、part-learners が受けた電気刺激数とこの背側帯状回皮質の活動の間に相関が見られました(図 6F 参照)。

このように、実験 2 では、part-learners の緊張による運動パフォーマンス低下と背側帯状回皮質の活動に相関が見られることが分かりました。

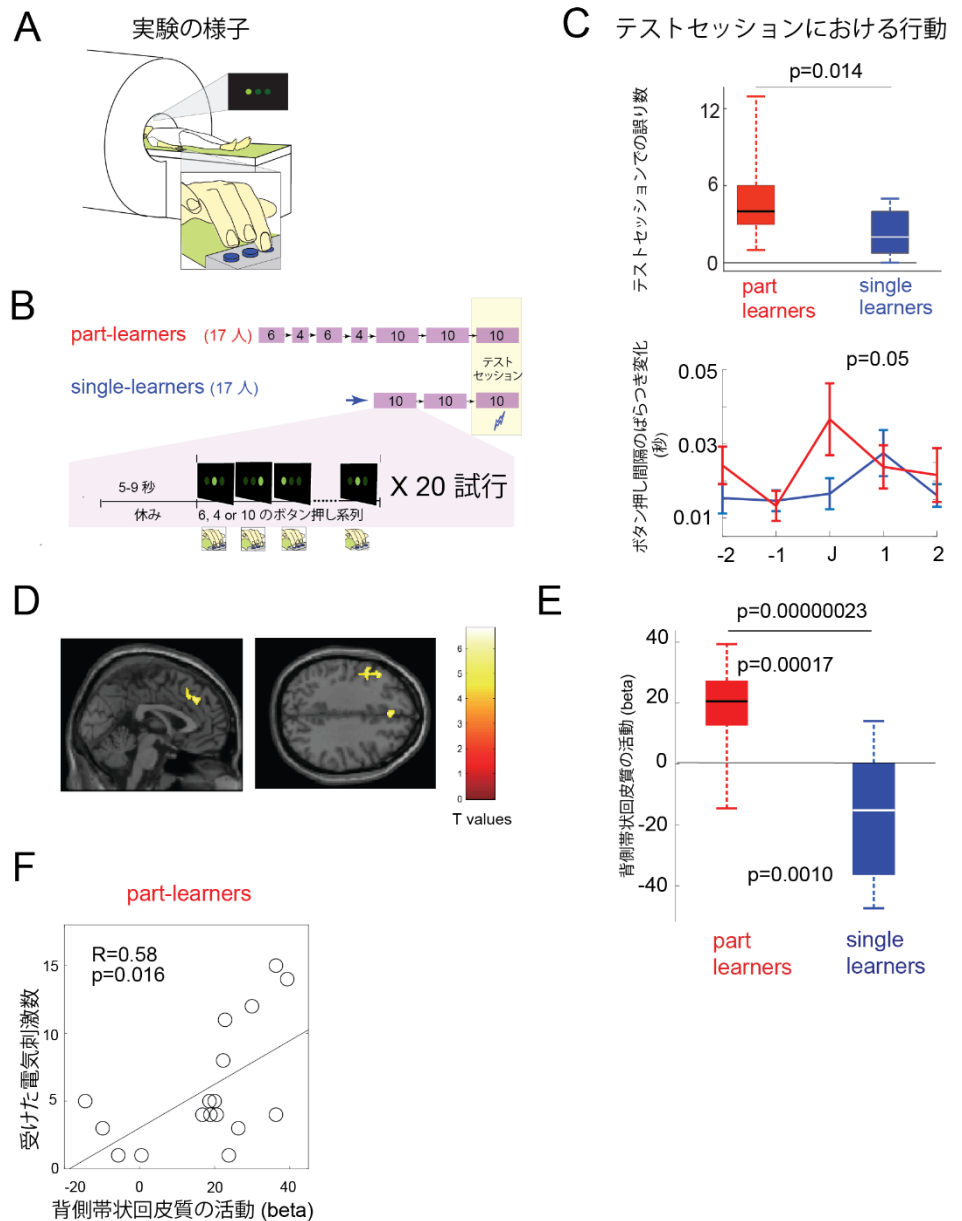


図 6 実験 2 (fMRI 実験) の内容と結果

[実験 3 TMS]

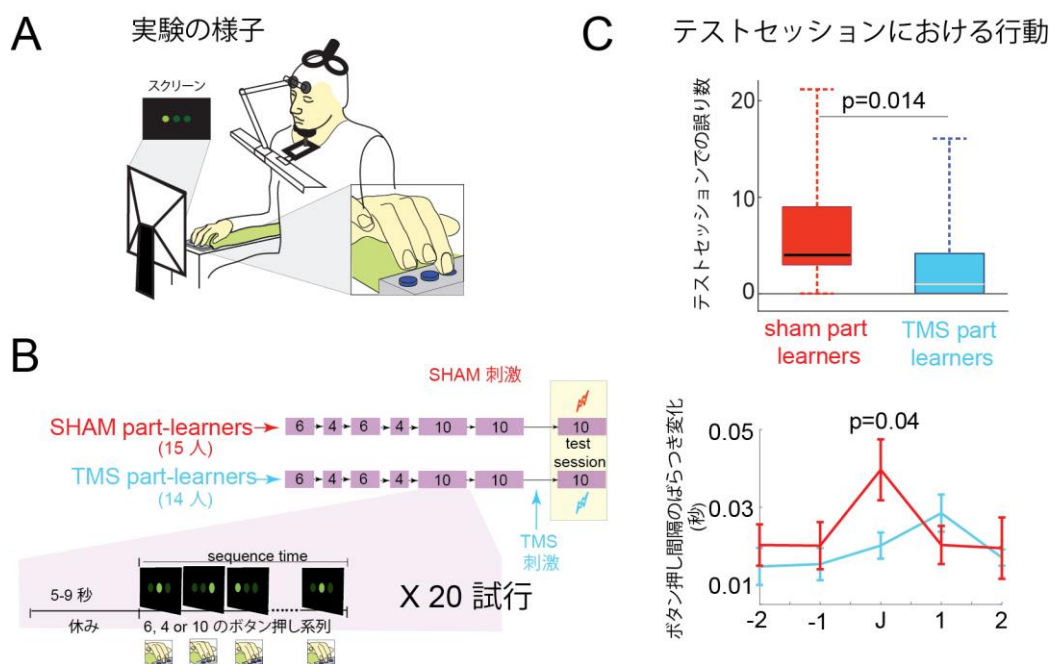


図 7 実験 3(TMS 実験)の内容と結果

実験 3 では、part-learners の緊張による運動パフォーマンス低下と背側帯状回皮質の活動の間の因果関係を調べるために TMS を行いました(1Hz 図 7A と図 7B 参照)。用いる課題は実験 2 と同じですが、テストセッションの直前に背側帯状回皮質に対し 1Hz で 320 発の TMS 刺激(運動野安静時閾値の 120%の強度)を行った TMS part-learners と、コイルと頭部の間に 1 センチのプラスチック板を挟み、実際に刺激は行わない Sham part-learners を比較しました。実験 3 では、single-learners に関する計測は行っていません。

その結果、TMS part-learners は Sham part-learners と比較して、テストセッションでの誤り数が少なく、実験 2 の single-learners と同じレベルになりました(図 7C 参照)。また、このとき、TMS part-learners では、繋ぎ目 J におけるボタン押し間隔のばらつきの上昇も見られませんでした(図 7C 参照)。

このように、実験 3 では、**part-learners の緊張による運動パフォーマンス低下と背側帯状回皮質の活動の間の因果関係**を示しました。

本研究は、緊張による運動パフォーマンスの低下を調べる行動課題を考案し、fMRI 実験により、被験者の運動パフォーマンス低下と背側帯状回皮質の活動が相関することを見いだしました。さらに、背側帯状回皮質に対する経頭蓋磁気刺激(TMS)で脳活動を抑え、この運動パフォーマンス低下を防ぐことに成功しました。これらの結果は、緊張による系列運動のパフォーマンス低下と背側帯状回皮質の活動の間の因果関係を示しています。

付記

本研究の実施に当たり、事前に被験者全員に対して実験内容を説明し、同意を得ました。また、実験計画については情報通信研究機構の倫理委員会の承認を受けています。