

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：32619

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K11367

研究課題名（和文）神経生理学的「あがり」指標の開発とニューロフィードバックトレーニングへの応用

研究課題名（英文）Development of a neurophysiological "choking under pressure" index and its application to neurofeedback training

研究代表者

佐藤 大樹 (SATO, Hiroki)

芝浦工業大学・システム理工学部・教授

研究者番号：90416933

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：緊張によりパフォーマンスが低下する「あがり」状態を神経生理学的に指標化すること、また、その指標を用いたメンタルトレーニング法を開発することを目的とした。ゴルフパッティングの成績と関連する脳活動を探索した結果、成績低下群では右側頭葉および背外側前頭前野の一部で脳活動が弱まる傾向が見られた。また、認知課題を用いた実験では、左中前頭回の活動と課題成績が関係する傾向が示された。これらの結果は、背外側前頭前野の活動信号が「あがり」指標として使える可能性を示す。また、これらの知見を応用し、簡易型fNIRS装置とスマートフォンを用いたニューロフィードバックトレーニングシステムのプロトタイプを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の意義は、日常環境下で使用できる脳機能計測技術を用いて、実際の「あがり」状態を検討した点、また、実用しやすいシステムを構築した点にある。従来研究の多くは、特別な実験室において限定した姿勢で実施されることが多かったため、自然な心理プレッシャー下でスポーツ課題を設定することが困難だった。本研究では、機能的近赤外分光法（fNIRS）を用いることによって、ゴルフパッティングに伴う脳活動を検討することができた。また、小型・安価なシステムとして、fNIRSとスマートフォンを用いたトレーニングアプリのプロトタイプを開発したことにより、脳科学の社会実装に向けて一歩前進したと考える。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to quantify the decline in performance under psychological pressure as a neurophysiological "choking" index and to develop a mental training method utilizing this index. We aimed to investigate brain activity associated with golf putting performance and observed a weakening of brain activity in the right temporal lobe and a section of the dorsolateral prefrontal cortex among individuals with lower performance. Furthermore, an experiment involving a cognitive task revealed a tendency for activity in the left middle frontal gyrus to be correlated with performance under pressure. These findings suggest the potential of utilizing brain activity in the dorsolateral prefrontal cortex as a reliable "choking" index. Building upon these results, we have developed a prototype of a neurofeedback training system using a simple fNIRS device and a smartphone.

研究分野：応用脳科学

キーワード：パフォーマンス 脳活動 ニューロフィードバック あがり 緊張 機能的近赤外分光法（fNIRS）

1. 研究開始当初の背景

重要な試合や受験など心理的プレッシャーがかかる場面において、緊張のため本来の能力を発揮できなくなる現象を「あがり」と呼ぶ。その発生メカニズムの解明は未だ不十分であるが、近年では神経生理学的研究も進みつつあり、「あがり」は脳で生じた現象である」ということが分かってきた[1]。例えば、機能的磁気共鳴画像法 (fMRI) を用いた研究により、前頭前野、運動野、辺縁系を中心とした脳機能ネットワークが「あがり」に深く関連していることが示唆されている[2]。

「あがり」のような運動や認知のパフォーマンスに関わる心理メカニズムの神経生理学的な解明は、新たなメンタルトレーニング法の開発を促進する知見となる。特に、脳活動信号をフィードバックして行うニューロフィードバック (NF) トレーニングへの関心は高い。ただし fMRI を用いた NF はコストが高く、参加者への負担も大きいため、NF トレーニングとして実用化することは極めて難しい。一方、低コストで利用しやすい脳波は長い間 NF の主流となっているが、神経科学的なエビデンスは弱く、その効果が検証できない場合もあった[3]。

報告者らは、日常環境下で簡便に使用できる機能的近赤外分光法 (fNIRS) を用いた予備検討を行い、プレッシャー下におけるゴルフパッティングのパフォーマンスを反映した脳活動信号が得られる可能性を見出し、本研究の計画を構想した。

2. 研究の目的

本研究では、神経生理学的な知見に基づく「あがり」克服法の開発を目指して、以下の目的を設定した。

- (1) プレッシャー下におけるパフォーマンスと関連する脳活動信号の同定：
日常環境下で簡便に使用できる脳活動計測技術 (特に fNIRS) を用いて、心理プレッシャー下におけるパフォーマンスと関連する脳活動パターンを明らかにする。また、プレッシャー下における運動タスクと認知タスクの違いについても検討する。
- (2) 「あがり」トレーニング向けニューロフィードバック (NF) システムの開発：
社会実装を念頭に、簡便に使用できる NF システムのプロトタイプを開発する

3. 研究の方法

(1) プレッシャー下におけるパフォーマンスと関連する脳活動信号の同定：

【運動タスク】

実験参加者は、ゴルフ未経験の男子学生 20 名 (平均年齢 21.3±1.3 歳、右利き) とした。ゴルフパッティングを模擬した運動タスクでは、目標までの距離を 1.5[m] に設定し、練習 5 回と本番 5 回の計 10 回、パッティングを実施させた。パッティングしたボールから目標までの距離をエラー値 (cm) とし、それぞれ 5 回の平均を練習エラー値、本番エラー値とした。また、心理的プレッシャーを与えるため、参加者の前に実験協力者が同じ運動タスクを実施し、それぞれの本番エラー値の比較による競争形式を採用した。本番時のプレッシャー要素として、勝敗による謝礼金の変動、および女子学生の観衆を設定した。脳活動計測には、携帯型 fNIRS 装置 (WOT-HS, NeU) を使用し、前頭葉を中心とした 34ch からデータを取得した。練習時から本番時にかけてエラー値が低減した群を向上群、エラー値が増加した群を低下群とした。パッティング直前の集中期間 10[s] を解析対象とし、oxy-Hb 信号の平均値を脳活動値として算出し、向上群と低下群で比較した (マンホイットニーの U 検定)。

【認知タスク】

実験参加者は、大学生もしくは大学院生 30 名 (男 15、女 15、平均年齢 21.6±3.1 歳) とした。各参加者は、プレッシャーシナリオを提示するプレッシャー条件、およびプレッシャーシナリオを提示しない統制条件の実験を、1 週間以上の間隔を空けて別日に実施した。プレッシャーシナリオ[4]では、成績により謝礼金が変動すること、自分の成績により他のチームメンバーの謝礼金も変動すること (社会的プレッシャー)、カメラで実験の様子を撮影し、後で専門家が見ることを参加者に伝えた。プレッシャーの効果については、各計測前に質問紙 (STAI) を用いて状態不安スコアを測定した。

認知課題には、ひらがなを記憶する言語性ワーキングメモリ (WM) 課題と図形の位置を記憶する空間性 WM 課題の 2 種類を用いた。課題を実施している期間は、fNIRS 装置 (ETG-4000, 日立製作所) を使用し、前頭葉を中心とした 52ch からデータを取得した。また、生体信号計測

装置 (PolymatePro MP-6000, ミユキ技研) を用いて, 呼吸信号および脈波信号も同時に計測した。解析では, 各データに対して, 実験条件 (統制・プレッシャー) × タスク種類 (言語性 WM・空間性 WM) の 2 要因分散分析を行った。

(2) 「あがり」トレーニング向けニューロフィードバック (NF) システムの開発:

本システムは, fNIRS デバイスとして簡易型のウェアラブル fNIRS 装置 (HOT-2000, NeU), 開発言語として Java スクリプトを用いて開発した (開発環境: Android Studio Ver. 4.2.1, Android Gradle Plugin Ver. 3.2.0, Gradle Ver. 4.8.1, 使用ライブラリ: ExBrainSdkAndroidLibrary_1.1.8.aar (NeU), MPAndroidChart, StateProgressBar)。また, 動作確認端末として, Xperia XZ SOV35 (SONY), BV6300Pro (深セン他科電子) を用いた。

4. 研究成果

(1) プレッシャー下におけるパフォーマンスと関連する脳活動信号の同定:

【運動タスク】

パッティング成績 (100 エラー値) を解析した結果, 12 名が成績向上 (向上群), 7 名が成績低下 (低下群) した (図 1)。

fNIRS で計測した脳活動値を向上群と低下群で比較した結果を図 2 に示す。有意差があった ch は全て, 低下群より向上群の方が強い脳活動を示した。特に差が顕著だった ch は, 右側頭葉 (ch3) と左前頭極 (ch21) に位置しており, これらの領域がプレッシャー下におけるパフォーマンス向上 (パフォーマンス維持) と関連することが示唆された。

側頭葉を含む右半球で有意差のある ch が多く見られた結果は, 左手圧搾運動により誘発された右半球優位状態が「あがり」によるパフォーマンス低下を軽減することを示した先行研究 [5] と一致する知見である。一方, 前頭前野を見ると, 左半球に位置する ch21 が最も小さな p 値を示したものの, 有意差を示した ch は右半球の方が多く, 左右差について明確な結論は得られなかった。ペナルティキック時の脳活動を fNIRS で検討した先行研究 [6] では, 右前頭葉の活性化がパフォーマンス低下と関連することを示しており, 今後の更なる検討が必要である。

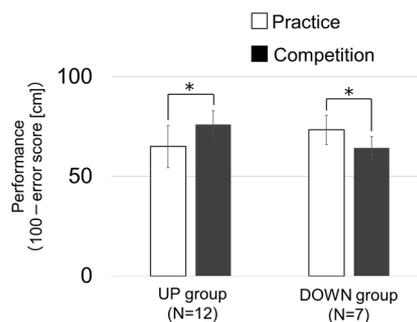


図 1 パッティング課題のパフォーマンス。向上群と低下群の比較。

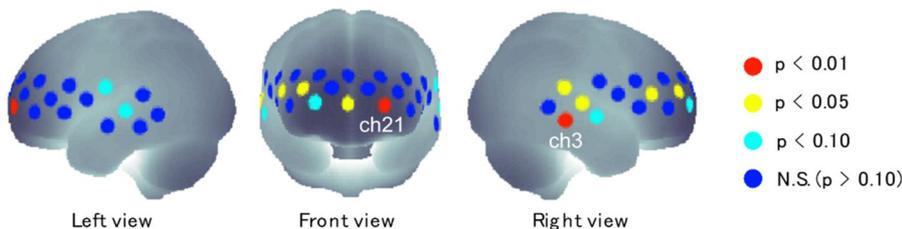


図 2 パッティング課題において向上群と低下群で有意差があった部位 (向上群 > 低下群)。

【認知タスク】

プレッシャー条件と統制条件で STAI の不安スコアを比較した結果, プレッシャー条件下で有意に高く ($p < 0.001$), 参加者が十分なプレッシャーを感じていたことを確認した。

WM 課題の正答率と反応時間に対する分散分析の結果, 実験条件の主効果が見られ ($p < 0.05$), タスク種類に依存せずプレッシャー条件下でパフォーマンスが低下することが分かった。この結果は, プレッシャー下で WM 機能が阻害される要因をネガティブな思考や付随する感情を制御しようとする感情制御に帰する「感情制御仮説」 [7] を支持するものである。

fNIRS で計測した oxy-Hb 信号の変化量を解析した結果, プレッシャー条件下で左中前頭回 (CH17, CH18) の活動が強くなることが示された ($p < 0.05, p < 0.01$) (図 3 (A))。この活動信号は, 言語性 WM および空間性 WM の反応時間改善度と相関した (図 3 (B) (C))。左中前頭回は, 行動や感情を制御する機能を持つことが知られており [8], 本結果からも, 「感情制御仮説」が支持された。また, 左縁上回 (ch21) では, タスク種類的主効果が見られた ($p < 0.05$)。これは言語性 WM 課題時に強く活動しており, 言語性 WM の反応時間改善度と相関した ($p < 0.01$)。

一方, 呼吸数と脈拍数に関しては, 実験条件およびタスク種類による違いは見られなかった。

以上の結果を統一的に解釈することは難しいが, 前頭葉活動の左右差を指標化することにより, プレッシャー下でのパフォーマンスを予測する脳活動指標が得られることが推測された。

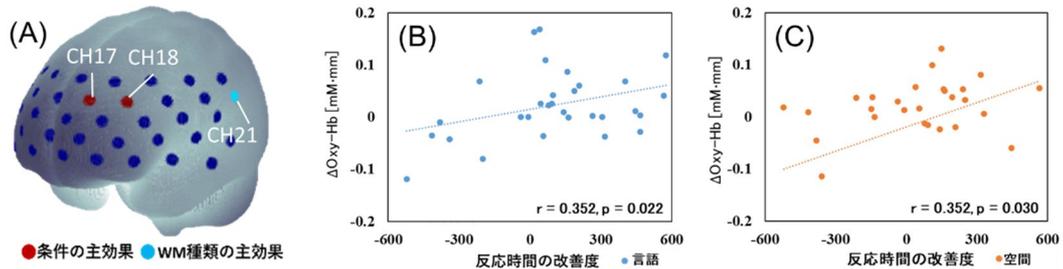


図 3 WM 課題における fNIRS の結果。(A) 実験条件および WM 種類の主効果が見られた領域。(B) 言語性 WM 課題における左中前頭回の脳活動値と反応時間改善度の相関。(C) 空間性 WM 課題における左中前頭回の脳活動値と反応時間改善度の相関。

(2) 「あがり」トレーニング向けニューロフィードバック (NF) システムの開発：

fNIRS の計測結果に基づき、前頭葉活動の左右差を調節する NF システムの開発に取り組んでいる。この fNIRS デバイスは前頭部の左右 2ch において total-Hb 信号を計測し、その情報をリアルタイムでスマートフォンに送信するものである。今回、NF アプリケーションのプロトタイプとして、2つの ch の信号強度の差を提示音楽の音量に変換するシステムを開発した(図 4)。アプリケーションの表示画面および操作時の流れを図 5 に示す。今後、本システムを用いて NF 効果の検証実験を進める予定である。

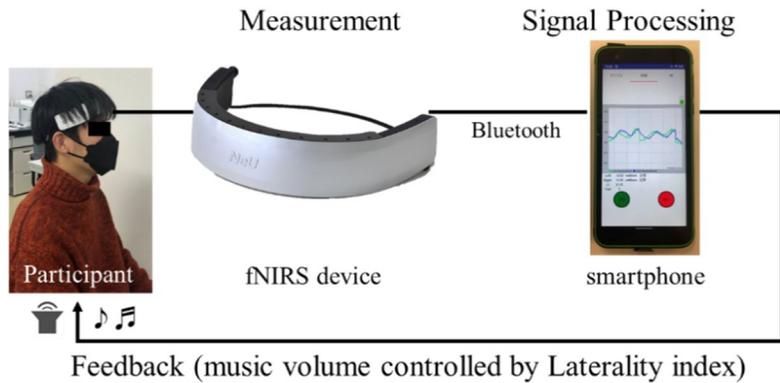


図 4 開発した NF システムの構成図。



図 5 開発した NF アプリケーションの画面および操作フロー。

< 引用文献 >

[1] Yu R. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*. 9(19): doi: 10.3389/fnbeh.2015.00019 (2015).
 [2] Lee T.G. and Gratton S.G., *Neuroimage*. 105, 145-155. (2015).
 [3] Ring C. et al. *Psychology of Sport and Exercise*. 16(1): 118-127. (2015).
 [4] Beilock S.L. et al. *J Exp Psychol Gen*. 133(4): 584-600. (2004).
 [5] Beckman J. et al. *J Exp Psychol Gen*. 142: 679-691. (2013).
 [6] Slutter M.W. et al., *Frontiers in Computer Science*. 3(661466): doi: 10.3389/fcomp.2021.661466 (2021).
 [7] Noritake Y. et al., *The Japanese Journal of Educational Psychology*. 68: 134-146. (2020).
 [8] Lee T.W. and Xue S.W. *PLoS ONE*, 13(9), e0203753 (2018).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Jasni, N.A., Sato, H.	4. 巻 1395
2. 論文標題 Basic Examination of Haemoglobin Phase of Oxygenation and Deoxygenation in Resting State and Task Periods in Adults Using fNIRS	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Oxygen Transport to Tissue XLIII. Advances in Experimental Medicine and Biology	6. 最初と最後の頁 189-198
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/978-3-031-14190-4_32	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計17件（うち招待講演 0件／うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Oshima H, Omura A, Sato H
2. 発表標題 Monetary reward/punishment and cognitive control: A functional near-infrared spectroscopy study
3. 学会等名 Organization for Human Brain Mapping 2023（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiyama R, Sato H
2. 発表標題 Development of an fNIRS-based neurofeedback system using prefrontal asymmetry
3. 学会等名 Organization for Human Brain Mapping 2023（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Sato H, Manai T, Nakata N.
2. 発表標題 Exploration of brain activation signals related to golf-putting performance under psychological pressure: A functional near-infrared spectroscopy study
3. 学会等名 Biennial meeting of the Society for fNIRS（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Fujita M, Jasni NA, Sato H.
2. 発表標題 Effects of Psychological Pressure on Working Memory Performance: An fNIRS study
3. 学会等名 Biennial meeting of the Society for fNIRS (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大嶋英之, 仲田記士, 佐藤大樹
2. 発表標題 ニューロフィードバックシステム設計に向けた心理的プレッシャー下での脳波信号解析
3. 学会等名 LIFE2022 (第37回ライフサポート学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 仲田 記士、眞名井 貴裕、佐藤 大樹
2. 発表標題 心理的プレッシャー下における運動パフォーマンスと関連する脳活動信号の探索
3. 学会等名 第24回光脳機能イメージング学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤大樹
2. 発表標題 近赤外分光法を用いた脳機能計測アプリケーションの展開
3. 学会等名 第61回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山口佳修, 佐藤大樹
2. 発表標題 単眼視による大脳半球の活性化を介した自律神経活動指標の変化
3. 学会等名 第61回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Fujita M, Sato H.
2. 発表標題 A New Multiple Comparison Correction Method for Functional Near-Infrared Spectroscopy and Its Assessment
3. 学会等名 Organization for Human Brain Mapping 2022 Virtual conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 ヌルシャリザ アミラジャスニ, 佐藤大樹
2. 発表標題 ワーキングメモリ課題のパフォーマンスに及ぼす精神的プレッシャーの影響: fNIRSを用いた検討
3. 学会等名 第24回日本ヒト脳機能マッピング学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大村彩, 佐藤大樹
2. 発表標題 金銭的報酬/罰と認知制御の関係: 機能的近赤外分光法を用いた検討
3. 学会等名 第24回日本ヒト脳機能マッピング学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤大樹, 鎌田隆史
2. 発表標題 自己選択により実行したワーキングメモリ課題に伴う前頭極の活動
3. 学会等名 第23回光脳機能イメージング学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤田麻瑚, 佐藤大樹
2. 発表標題 fNIRSにおける脳活動の空間的拡がりを考慮した多重比較補正法の提案
3. 学会等名 第23回光脳機能イメージング学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nursyarizah Amirah Jasniah, Hiroki Sato
2. 発表標題 Hemoglobin phase of oxygenation and deoxygenation in adults: an fNIRS study
3. 学会等名 International Society on Oxygen Transport to Tissue 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大村彩, 佐藤大樹
2. 発表標題 金銭的報酬/罰と認知制御の関係: 機能的近赤外分光法を用いた検討
3. 学会等名 第24回日本ヒト脳機能マッピング学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 ヌルシャリザ・アミラ・ジャスニ, 佐藤大樹
2. 発表標題 ワーキングメモリ課題のパフォーマンスに及ぼす精神的プレッシャーの影響：fNIRSを用いた検討
3. 学会等名 第24回日本ヒト脳機能マッピング学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤大樹, 仲田記士, 佐藤練
2. 発表標題 fNIRSによるリアルワールド脳活動計測の応用に向けた探索研究
3. 学会等名 第24回日本ヒト脳機能マッピング学会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	加納 慎一郎 (Kano Shin-ichiro) (00282103)	芝浦工業大学・工学部・教授 (32619)	
研究分担者	赤木 亮太 (Akagi Ryota) (20581458)	芝浦工業大学・システム理工学部・教授 (32619)	
研究分担者	堀江 亮太 (Horie Ryota) (60327690)	芝浦工業大学・工学部・教授 (32619)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	八幡 憲明 (Yahata Noriaki) (70409150)	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・量子生命科学 領域・グループリーダー（定常） (82502)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関