

氏 名 小笠原 香苗

学位(専攻分野) 博士(理学)

学位記番号 総研大甲第 2431 号

学位授与の日付 2023 年 3 月 24 日

学位授与の要件 生命科学研究科 生理科学専攻
学位規則第6条第1項該当

学位論文題目 Neural substrates of choking under pressure-A 7T-fMRI
study

論文審査委員 主 査 南部 篤
生理科学専攻 教授
定藤 規弘
生理科学専攻 教授
竹村 浩昌
生理科学専攻 教授
田中 悟志
浜松医科大学 医学部 教授

(Form 3)

Summary of Doctoral Thesis

Name in full Ogasawara, Kanae

Title Neural substrates of choking under pressure-A 7T-fMRI study

Performance decrement under excessive psychological pressure is known as "choking under pressure", or simply "choking", which mechanism is little known, nor is its neural underpinning. Choking is known to increase the probability of failure by changing the behavioral pattern. Regardless of psychological pressure, changes in behavioral patterns are typically associated with changes in the internal model for motor control. Taken together, I hypothesized that choking could be caused by the alteration of the internal model due to excessive pressure. To test this hypothesis, I put excessive pressure on participants through the Jackpot, a low-frequency, high-reward condition, that was shown to induce choking in a previous study. To compensate for the limited statistical power due to low-frequency of the Jackpot, I used a 7T-fMRI that has a high signal-to-noise ratio. To test if alteration of the internal model in the Jackpot occurs before the actual motor execution, I separately analyzed two phases of motor preparation and execution.

Twenty-three volunteers underwent a visual reaching task. Participants used the differences in grip force between both hands to precisely control the movements of the target cursor. Participants underwent a practice session followed by the main session with the semi-identical experimental setup, both of which were subject to fMRI measurements. At the start of the motor preparation phase of the task trial during the main session, participants were informed in advance of the reward to receive upon success. I prepared four conditions with different rewards: None (0 points), Small (2 points), Large (4 points), and Jackpot (60 points). To provide high psychological pressure, the reward under the Jackpot condition was fifteen times higher than the Large

condition, and the appearance probability of a Jackpot was lower (0.05) compared to the other three conditions (0.36 for each). The data from the practice session was used to define the internal model region by the decline of task-related activation. To depict the regions specific to failure in Jackpot, I applied the full factorial model with two factors: Conditions (None, Small, Large, Jackpot) and Performance (Success, Failure) in both the motor preparation and execution phase. Firstly, I searched for activation specific to failure in Jackpot by whole-brain analysis. Second, by using the internal model depicted by practice session data, I tested the hypothesis that choking is caused by the alteration of the internal model.

The behavioral data analysis showed that the success rate was significantly lower in the Jackpot compared to the other three conditions, indicating that choking specifically occurred in the Jackpot. In fMRI results, during the motor preparation phase of the Jackpot condition, activation in the cerebellar hemisphere, vermis, and middle temporal visual area (hMT+) was related to the following failure. Furthermore, the cluster on the cerebellar hemisphere significantly overlapped with regions representing the internal model defined by the practice session. In contrast, during the motor execution phase, there were regions specifically associated with a failure in Jackpot: the Brodmann area 47 (BA47) and caudate nucleus, while they did not overlap with the internal model regions.

The behavioral results indicate that the experimental setting successfully induced choking. The results of fMRI data during the motor preparation phase suggest that the overactivation in the cerebellum preceding the failure during the Jackpot condition represents the un-optimized internal models. It is well known that the cerebellum plays a key role as an internal model and that preloading an inappropriate internal model before the task leads to task failure in motor control. Given these lines of evidence, I conclude that the inappropriate modulation of the internal model in the cerebellum during the motor preparation phase may lead to the following failure in

motor control. The hMT+ also showed excessive activation in the failure in Jackpot. Sensory attenuation would occur on hMT+ when I predict the outcome of my behavior even before the actual movement. Previous studies suggest that the failure of sensory attenuation cause the modification of the internal model, suggesting that the lack of attenuation is a potential cause of dysfunction of the internal model. There are some possible interpretations of the caudate nucleus and BA47 depicted as regions specifically associated with a failure in Jackpot during the motor execution phase: outcome valuation, feedback control during motor execution, and modification after motor execution. I should note that these regions are not included in the internal model regions. This suggests that changes in brain activity that lead to choking might also occur outside of the internal model. To depict the entire neural bases of choking, future research is warranted.

Taken together, choking might be related to the alteration of the internal model by the psychological pressure even before the execution, resulting in unsatisfactory motor control.

博士論文審査結果

Name in Full
氏 名 小笠原 香苗

Title
論文題目 Neural substrates of choking under pressure-A 7T-fMRI study

本出願者は、ヒトを対象に機能的 MRI を用いることにより、「あがり」(choking under pressure) の神経メカニズムについて研究を行った。

「あがり」とは、過剰な心理的プレッシャーによりパフォーマンスが低下することを指し、様々なスポーツや演奏会のみならず、面接など他人から評価されるような場面等、日常的にもよく遭遇する現象である。これまでスポーツ心理学領域では、他者からの否定的評価への恐れという社会情動が「あがり」を誘起する、という仮説を実験的に検証しようと試みられてきた。そのために、賞賛獲得欲求・拒否回避欲求の計測とともに、「あがり」を自律神経系の反応として定量化することが行われてきた。一方で、機能的 MRI を用いて「あがり」の神経基盤を解析するためには、「あがり」状態を実験的に生起させることが必要で、適切な実験課題がないことが、大きな問題であった。

本出願者は先行研究において示された、非ヒト霊長類において「法外に大きな報酬が期待できるが、稀にしか無い」条件(ジャックポット条件、大当たり条件)でパフォーマンスが下がるという行動実験結果に基づき、ヒトを対象とする機能的 MRI 実験を計画した。

「あがり」によるパフォーマンスの低下は心理的プレッシャーによる過覚醒が脳において表象されている運動の内部モデルを変調させることによって生じる、という仮説を立てた。実験は 29 名のヒト健常成人を対象とし、左右の手の握力の差により、モニタ上でカーソルの位置をターゲットの位置に揃えるという比較的難しい視覚運動課題を遂行する際の脳活動を 7 テスラ MRI 装置による機能的 MRI によって計測した。この際に報酬の大きさと頻度を調節することで、「あがり」を発生すると考えられる「大当たり」条件を設定し、その際の脳活動に着目した分析を行った。本出願者の独創的な点は、報酬がある本番条件のみならず、学習過程(練習条件)においても機能的 MRI 計測を行うことにより、学習により生成される運動内部モデル領域を描出した点にある。実験中取得された行動・生理データの分析により、大当たり条件では他の条件に比べてパフォーマンスが低下すること、交感神経系亢進によって過覚醒状態となっていることが示され、実際に「あがり」が生じていることが確認された。一方、「大当たり条件」で失敗した試行において有意な脳活動を示した領域は、運動準備時では小脳半球部・虫部と視覚 hMT+野、運動実行時ではブロードマンの 47 野と尾状核であった。このうち小脳半球部の脳活動に関して、成功報酬が提示された時に起こる運動内部モデルの過活動が、その直後の失敗を予測することが示された。つまり、「あがり」は心理的プレッシャーによる過覚醒が、運動の内部モデルを変調させることによっておこると考えられた。今後、「大当たり」条件における情動状態の解析や社会的状況による「あがり」との比較をすることにより、本研究は「自己の能力を適切に発揮する」という well-being の重要な要因を満たすための「情動制御」技術の端緒となることが期待

される。

本出願者は、ヒト機能的 MRI を用いて「あがり」の神経メカニズムを明らかにする研究を行った。そのための実験課題の設定、機能的 MRI の計測方法、解析方法など、適切な研究方法がとられている。その結果、「あがり」に関する脳部位を同定するなど、ヒト脳の機能、とくに情動機能を理解する上で、重要な成果が得られたと考えられる。以上の理由から、審査委員会は、本論文が学位の授与に値すると全員一致で判断した。