

学 校 名	自 治 医 科 大 学	研究所名等		
研 究 課 題	侵襲的脳活動計測・介入によるヒト情動・共感の神経機序の解明 —ECoG・DBSを駆使し「いいね」を生み出す脳の仕組みに迫る—		研 究 分 野	医 学
キ ー ワ ー ド	①情動、②共感、③侵襲的脳活動計測、④電気刺激、⑤脳深部刺激療法、⑥経皮的耳介迷走神経刺激			

○研究代表者

氏 名	所 属	職 名	役 割 分 担
川 合 謙 介	自 治 医 科 大 学 脳 神 経 外 科 学 講 座	教 授	研究代表者・総括・手術

○研究分担者

氏 名	所 属	職 名	役 割 分 担
中 嶋 剛	自 治 医 科 大 学 脳 神 経 外 科 学 講 座	准 教 授	手術・実験・論文作成
石 下 洋 平	自 治 医 科 大 学 脳 神 経 外 科 学 講 座	講 師	手術・実験・論文作成
井 林 賢 志	自 治 医 科 大 学 脳 神 経 外 科 学 講 座	講 師	手術・実験・論文作成
大 谷 啓 介	自 治 医 科 大 学 脳 神 経 外 科 学 講 座	講 師	手術・実験・論文作成
佐 藤 信	自 治 医 科 大 学 脳 神 経 外 科 学 講 座	助 教	手術・実験・論文作成
大 貫 良 幸	自 治 医 科 大 学 脳 神 経 外 科 学 講 座	講 師	実験・論文作成・データ整理

侵襲的脳活動計測・介入によるヒト情動・共感の神経機序の解明 — ECoG・DBS を駆使し「いいね」を生み出す脳の仕組みに迫る —

1. 研究の目的

現代社会において、映画や小説といった物語的コンテンツを鑑賞する際、我々は登場人物の情動に共感し、ときに自身の内にも類似の情動が喚起される。このような共感性は、他者の感情状態を理解・共有する社会的認知の基盤とされている。さらに、ソーシャル・ネットワーキング・サービス（SNS）の普及により、「いいね」やリツイートなどの共感的反応が社会的報酬として機能するようになり、著名人の社会的地位や影響力を可視化する指標としても重要性を増している。近年では、情動や共感が契機となる情報拡散行動が、社会的価値の創出に寄与するプロセスとして注目されている。本研究では、このような情動および共感性を介した情報拡散行動の神経基盤を明らかにすることを目的とする。令和6年度は、昨年度より継続して実施している「視床下核における共感性および情動情報処理への関与の検証」および「侵襲的・非侵襲的電気刺激による神経活動変調を通じた情動・共感性の変容の検証」に加え、新たに「侵襲的・非侵襲的電気刺激による情報拡散行動の変容」に関する調査を実施した。

2. 研究の計画

(1) 視床下核における共感性および情動情報処理への関与の検証

①他者の痛み推定課題時の視床下核活動の有無、視床下核活動に同期する脳領域、および痛みの度合いに対応した脳領域の探索を目的として、パーキンソン病患者と同年代の健常成人（昨年度からの累計20名）を被験者とした非侵襲的脳活動計測法である機能的磁気共鳴画像法（functional Magnetic Resonance Imaging：fMRI）を用いて計測した。

(2) 侵襲的・非侵襲的電気刺激による神経活動変調を通じた情動・共感性の変容の検証

①脳深部刺激療法のため、脳深部電極を留置したパーキンソン病患者に対して、電気刺激提示中に他者の痛み推定課題を実施した。電気刺激の変数は、前年度の視床下核活動解析結果に基づき設定した。電気刺激による神経活動の一時的な変調により、行動に一過的な変化が生じるかを検証した。

②情報記憶の強化効果(Ventura-Bort et al. 2021, *The Journal of Neuroscience*) など、情動情報処理への効果が報告されている経皮的耳介迷走神経刺激装置（taVNS）を健常成人（昨年度からの累計20名）に適用し、他者の痛み推定課題における行動の一過性の変化を比較した。taVNSとsham-taVNSの2条件を2日間に分けて実施した。

(3) 侵襲的・非侵襲的電気刺激による情報拡散行動の変容

①前年度の研究により示唆された「共感性を反映する視床下核活動に基づく電気刺激」が情報拡散行動を誘発する可能性を検証した。雑学的知識に対する感嘆度と、それを他者と共有したくなる欲求（情報拡散行動）を評価する認知課題を新たに作成した。脳深部電極を留置したパーキンソン病患者に本課題を実施し、電気刺激による神経活動の一時的な変調が行動に一過的な変化をもたらすかを検証した。

②上記と同様の課題を用い、経皮的耳介迷走神経刺激装置（taVNS）を健常成人に適用し、雑学的知識に対する感嘆度および情報拡散行動の一過性の変化を比較した。taVNSとsham-taVNSの2条件を2日間に分けて実施した。

3. 研究の成果

(1) 視床下核における共感性および情動情報処理への関与の検証

①健常成人（昨年度からの累計20名）を対象に他者の痛み推定課題時のfMRI計測を実施し

た。その結果、他者の痛みを認識している際、とくに苦痛によって顔が歪む映像を呈示した場面で、視床下核における有意なクラスター活動が確認された。一方で、視床下核の活動は痛みの強度とは有意な相関を示さず、また同期的に賦活する他の脳領域も検出されなかった。痛みの度合いと有意な相関を示した領域としては、小脳、舌状回、上頭頂小葉、補足運動野、上前頭回が同定されたが、視床下核は含まれなかった。

(2) 侵襲的・非侵襲的電気刺激による神経活動変調を通じた情動・共感性の変容の検証

①他者の痛み推定課題を用いて、電気刺激による一過性の共感性の変化を評価した。脳深部電極を留置したパーキンソン病患者を対象に、130Hz（前年からの累計8名）または30Hz（前年からの累計7名）の周波数で視床下核への電気刺激を行った。結果として、130Hz刺激では他者の手の痛みに対する共感性が低下する傾向が認められ、一方、30Hz刺激では他者の痛みの表情に対する共感性が上昇する傾向が見られた。

②パーキンソン病患者と同年代の健常成人（前年からの累計20名）を対象に、「他者の痛み推定課題」を2日間実施し、いずれか一方に経皮的耳介迷走神経刺激（taVNS）を適用した。被験者は、他者の手や顔の痛みに対する共感性の評価を行い、呈示刺激との線形回帰から傾きと切片を算出した。その結果、顔刺激においてtaVNS条件下で評価の傾きが有意に低下し、痛みを一貫して低く見積もる傾向が示された。一方、手刺激や切片には有意差は見られなかった。さらに、1日目にtaVNSを受けた群でのみ、顔刺激の傾きの有意な低下が確認された。

(3) 侵襲的・非侵襲的電気刺激による情報拡散行動の変容

①本課題は、脳深部電極を留置したパーキンソン病患者を対象に電気刺激を提示し、雑学知識に対する感嘆度および情報拡散行動の変化の有無を検証することを目的として実施した。今年度は課題を遂行できた患者が1名のみであったため、得られた結果は限定的なものにとどまる。刺激前後の比較では、雑学への感嘆度に顕著な変化は見られなかった。一方で、「雑学知識を他者と共有したい」と回答した割合は65%から85%に上昇し、情報拡散行動の促進が示唆された。

②健常成人19名を対象に、経皮的耳介迷走神経刺激（taVNS）の効果を検証する目的で、雑学知識に対する感嘆度と、それを他者に共有したくなる情報拡散行動の変化を測定した。実験は2日間にわたって実施され、刺激の提示タイミングによって、行動変容の傾向に差が認められた。1日目にtaVNSを受けた群では、情報拡散率（「他者に共有したい」と回答した割合）はsham条件下で56.9%、taVNS条件下で54.6%とほぼ変化が見られず、感嘆度についてもsham条件下で4.9からtaVNS条件下で4.4へと低下傾向を示した。一方、2日目にtaVNSを受けた群では、情報拡散率がsham条件下の50.6%からtaVNS条件下には57.2%へと上昇し、感嘆度についても5.2から5.8へと有意な上昇が見られた。

4. 研究の反省・考察

(1) 共感性を反映する視床下核活動から他者の痛みの推定

①昨年には、脳深部刺激療法のために電極を留置したパーキンソン病患者の視床下核活動から、他者が痛みを感じ始めた時に視床下核の β 帯域活動が上昇することを示したが、昨年度から継続した本fMRI計測の成果から、健常成人においても他者の痛みに対する共感性に視床下核が関与していることを示すことができた。その一方、視床下核活動は痛みの度合いとの相関性は認められず、また、この視床下核活動と同期する脳領域も認められなかった。この結果から、視床下核は痛みに対する共感性に関わるが、「感覚的な痛みの強さ」そのものを符号化する領域ではない可能性が示唆される。現在、今回のfMRI結果と昨年に得られた視床下核活動の結果をまとめた論文を作成中である。

(2) 侵襲的・非侵襲的電気刺激による神経活動変調を通じた情動・共感性の変容の検証

①今年度は本研究に参加可能な患者数が少なく、目標サンプルサイズまでまだ到達できていないため限定的な結論にとどまる。しかし、視床下核への130Hzおよび30Hzの電気刺激は、

それぞれ異なる方向の行動変容を引き起こす傾向が示された。具体的には、130Hzでは他者の手の痛みに対する共感性が低下する傾向が見られ、30Hzでは他者の痛みを反映する表情に対する共感性が上昇する傾向が確認された。視床下核は扁桃体や帯状回などの辺縁系と結合していることが知られており (Emmi et al., 2020, *Frontiers in Neuroanatomy*)、30Hz刺激によってこれらの情動関連ネットワークが賦活された可能性が考えられる。さらに、本結果は視床下核の活動が周波数依存的に共感情報処理に関与している可能性を示唆するものである。

②先行研究では、本研究と同様の周波数帯域による迷走神経刺激が視床下核の β 帯域活動を低下させる可能性が示唆されており (Marano et al., 2024, *Movement Disorder*)、本研究の結果も迷走神経を介した視床下核活動の変調に関与している可能性を支持するものである。上記に示したように、30Hzの視床下核への直接的な電気刺激により他者の痛みを反映した表情に対する共感性が上昇することが確認された一方、30Hzを含む β 帯域の活動を低下させる可能性のある迷走神経刺激では、同様の刺激に対する共感性の低下が観察された。これらの結果は、視床下核における β 帯域活動が「他者の痛みに対する共感性」において周波数依存的な役割を果たす可能性を示唆している。現在、本成果をまとめた論文の作成を進めている。

(3) 侵襲的・非侵襲的電気刺激による情報拡散行動の変容

①本研究は1症例のみの結果であり、一般化には限界がある。しかし、30Hzの脳深部刺激により情報拡散行動が増加し、一方で感嘆度には明確な変化は見られなかった。情報拡散は、社会的関与を反映する動機づけ行動と捉えることができる。30Hz刺激が他者の表情から痛みを読み取る共感性を高めることを示した申請者の先行研究と照らし合わせると、今回の結果は、電気刺激による共感性の向上が、情報の内在的価値(感嘆)には影響を及ぼさなかった一方で、他者と感情を共有しようとする社会的動機を強化し、それが拡散行動の促進につながった可能性が示唆される。

②taVNS刺激は全体として有意な効果を示さなかったが、刺激の提示タイミングによって行動変容の傾向が異なり、特に2日目にtaVNSを受けた群では、感嘆度と情報拡散率の上昇傾向が認められた。これは、taVNSが特定の文脈やタイミングにおいて、行動変容を促進または抑制する可能性を示唆している。また、taVNS刺激を伴う他者の痛みの評価課題においても、社会的手がかりである顔刺激に対する感受性が、刺激の提示タイミングによって変化することが確認されており、本研究における「taVNSの効果は文脈に依存する」という知見を支持する結果となった。これらの知見は、taVNSが共感性や社会的動機づけが関与する情報拡散行動、ならびに情報の内在的価値(感嘆)に関する情報処理に対して、選択的かつ状況依存的に影響を及ぼす可能性を示唆している。

5. 研究発表

(1) 学会誌等

なし

(2) 口頭発表

Yoshiyuki Onuki, Lkhagvasuren Amarsanaa, Takeshi Nakajima, Efe Soyman, Kensuke Kawai, Valeria Gazzola, Christian Keysers. A The human subthalamic nucleus encodes the pain perception of others. Human Brain Mapping, Brisbane, Australia, June 24-29, 2025. (ポスター発表)

(3) 出版物

なし