

氏名	横田 裕 丈		
学位の種類	博士 (保健学)		
学位記番号	甲第 82 号		
学位授与の日付	2022 年 3 月 17 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当		
学位論文題目	Region-Specific Effects of 10-Hz Transcranial Alternate Current Stimulation Over the Left Posterior Parietal Cortex and Primary Somatosensory Area on Tactile Two-Point Discrimination Threshold. 左後頭頂皮質および一次体性感覚野に対する 10Hz 経頭蓋交流電流刺激が触覚二点識別覚閾値にもたらす領域特異的効果.		
論文審査員	主査	新潟医療福祉大学	教授 大西 秀 明
	副査	新潟医療福祉大学	教授 大鶴 直 史
	副査	新潟医療福祉大学	准教授 山代 幸 哉

論文内容の要旨

知覚機能における高次の評価指標として二点識別覚 (Two-point discrimination; TPD) が古くから用いられている。この TPD は、末梢への触覚刺激や電気刺激により閾値が低下することや、一次体性感覚野の α パワー増大が関与していることが報告されている。また、左後頭頂皮質 (PPC) 内の下頭頂小葉が TPD の認知過程において重要な役割を果たしている可能性が示唆されているが、それらの皮質領域の活動を外的に変調させた際に、TPD 閾値がどのように変化するかは不明である。経頭蓋交流電流刺激 (tACS) は非侵襲的に脳を外部から刺激することで、直下の皮質部位の脳律動を刺激周波数と同調させることができる。そのため、 α 帯域の tACS を用いて左 PPC の α 脳律動を人為的に高めることで、知覚機能を向上できる可能性がある。本研究は 10Hz (α 帯域) の α -tACS を用いて TPD の認知段階における責任領域であるとされる左 PPC、および触覚情報を高次領野へ伝達する一次体性感覚野 (S1 の α 帯域活動を高めることで、 α -tACS が TPD 閾値に与える領域特異的効果を明らかにすることとした。

対象は、健常成人 21 名 (平均年齢: 20.5 ± 0.8 歳) とした。tACS の電極は、国際 10-20 法に基づき、5cm \times 5cm の電極の一方を左 PPC (実験 1) あるいは S1 (実験 2) に、他方を右肩に貼付した。安静イス坐位にて、刺激強度 1.0mA、刺激周波数 10Hz の α -tACS 中に、特注の二点式触覚刺激装置を用いて右示指指腹に対する TPD 測定を行った。二点間の距離は 0.5mm 間隔で 1.0mm から 5.0mm までの二点に、0mm の一

点を加えた 10 種類とし、1block に 80 回の TPD 測定を α -tACS 条件と sham 条件 (fade in/out の 20s のみ刺激) でランダムに 2block ずつ、合計 4block (320 回) 行った。各ブロック間には 5 分間の休息を設けた。ロジスティック回帰により左 PPC および S1 それぞれにおいて 50% 正答率 (TPD 閾値) を求め α -tACS/sham 条件間で比較した。さらに、各領域における TPD 変化量 (sham 条件の TPD 閾値 - tACS 条件の TPD 閾値) を領域間で比較することで、 α -tACS の TPD に対する領域特異的効果を検討した。統計解析は、正規性の検定の後に対応のある t 検定を用いた。有意水準は 5% とした。

実験 1 および 2 の結果より、左 PPC に対する α -tACS は TPD 閾値を低下させ ($p = 0.010$)、左 S1 に対する α -tACS は TPD 閾値に変化を及ぼさず ($p > 0.05$)、64.7% の被験者で上昇した。領域ごとの変化量の比較では、左 S1 と比較して左 PPC に対する α -tACS は、有意に TPD 閾値を低下させた ($p = 0.003$)。これは、10Hz (α 帯域) の α -tACS は、左 PPC に対して用いた際は、認知段階での課題に対する注意を促通し TPD 閾値を低下させ、S1 に対して用いた際は高次領野への情報伝達を阻害したことで TPD 閾値は変化しなかったと考えられる。これらの結果より、左 PPC および S1 に対する α -tACS は、TPD 閾値に対して領域特異的な効果を与えることが明らかとなった。

キーワード：二点識別覚、経頭蓋交流電流刺激、左後頭頂皮質、一次体性感覚野

論文審査結果の要旨

本論文は、10Hz (α 帯域) の経頭蓋交流電流刺激 (transcranial Alternate Current Stimulation, tACS) が二点識別覚 (Two-Point Discrimination, TPD) 閾値に与える影響を明らかにすることを目的とした研究論文である。TPD 検査はリハビリテーションの臨床現場において、体性感覚機能 (空間的識別能力) を検査する目的で頻回に用いられる検査の一つである。本研究では、体性感覚機能の空間的識別能に寄与すると推定される大脳皮質領域の「一次体性感覚野 (Primary somatosensory cortex, S1)」と「後頭頂皮質 (Posterior Parietal cortex, PPC)」に焦点をあて、それぞれの皮質領域の活動を外部から変調させた際の TPD 閾値の振る舞いを計測・解析している。

研究の対象者は、健常成人 21 名 (平均年齢: 20.5 ± 0.8 歳) である。tACS の電極を左 PPC あるいは左 S1 直上に貼付し、刺激強度 1.0 mA、刺激周波数 10Hz の α -tACS 中に、二点式触覚刺激装置を用いて右示指指腹に対する TPD を測定している。TPD 検査方法は、学位論文提出者らの先行研究の結果 (Yokota H, et al. Neuroscience Letter, 2020) に基づき、二点間の距離は 0.5 mm 間隔で 1.0 mm から 5.0 mm までの二点に、

0 mm の一点を加えた 10 種類とし、 α -tACS 条件時または sham 条件時に検査している。左 PPC 刺激条件および左 S1 刺激条件のそれぞれにおいて 50% 正答率 (TPD 閾値) を算出し、sham 条件と比較した結果、左 PPC に対する α -tACS は TPD 閾値を低下させるが ($p = 0.010$)、左 S1 に対する α -tACS は TPD 閾値に変化を及ぼさないことを明らかにしている。本研究では、左 PPC に対する α -tACS は TPD 閾値を低下 (感覚パフォーマンスを向上) されることを示した極めて独創的な研究である。

学位論文提出者に対し、本論文の内容について説明を求めると共に、関連事項について試問を行った結果、1) tACS により注意力が増大して TPD を改善するという考察に対して、今回は左 PPC に刺激しているが右 PPC を刺激しても同様の結果をもたらすのか、2) 経頭蓋電流刺激には直流刺激やノイズ刺激など、複数の刺激方法があるが、先行研究で tACS 以外の刺激方法を用いて TPD 機能を改善するという報告はあるのか、3) 今回の tACS では α 帯域で刺激しているが、 β 帯域や γ 帯域での刺激でも同様の結果が得られるのか、4) 注意の向け方が結果に影響している可能性はあるのか、などについての質疑が行われ、それぞれの質問に対して適切に回答を得ることができた。

本研究では二つの重要な結果を示している。一点目は二点識別閾値に PPC が関与していることを再確認した点であり、二点目は非侵襲的な脳刺激のうち α 帯域の tACS によって TPD 閾値が向上することを明らかにした点である。半球優位性や刺激周波数特異的な結果であるのかなど、の課題も残るが、本論文は、感覚障害に対する新たな治療法の開発に発展できる創造性を有していると言える。

以上のことから、審査委員会は本論文を博士論文に相応しいと認める。