

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 16 日現在

機関番号：13801

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K21195

研究課題名（和文）小脳に時計があるのか？経頭蓋直流電気刺激による時間範囲依存性知覚調節効果の検証

研究課題名（英文）A cerebellar clock: Testing the role of the cerebellum in sub- and supra-second perception using transcranial direct current stimulation

研究代表者

黒田 剛士 (KURODA, Tsuyoshi)

静岡大学・情報学部・特任助教

研究者番号：50725950

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：時間計測機構が内在するとされる小脳を対象とし、従来の研究で見解の分かれている1秒以下と1秒以上の時間知覚に対する小脳の作用機序の変容を解明することを目的とした。そのために、近年実験心理学への導入が進められている経頭蓋直流電気刺激（tDCS）を心理物理学実験に適用した。同手法を用いて小脳の興奮性を調整し、時間課題の成績への影響を観測することで、小脳と時間知覚の因果関係を検証した。

研究成果の概要（英文）：The cerebellum has been posited to involve time perception. Potential differences between sub-second and supra-second processing in this brain region were examined in this study, using a non-invasive brain stimulation technique, transcranial direct current stimulation (tDCS). This technique was adopted to reveal a 'causality' between the cerebellum and time perception. In the experiment, the cerebellar excitability was modulated by the anodal or cathodal tDCS, and the performance of time-relevant tasks before and after the stimulation was measured with psychophysical methods.

研究分野：心理物理学

キーワード：時間知覚 小脳 経頭蓋直流電気刺激

1. 研究開始当初の背景

非侵襲的脳刺激法が諸領域から注目を集めているのは、それをを用いることで該当脳領域と心理機能との因果関係に言及できるからである。脳科学の主流をなす脳機能画像法は、原則的に相関関係を明らかにするに留まる。つまり、脳領域の活動が知覚と同時に観測されることは、両者の因果関係を必ずしも意味するわけではない。非侵襲的脳刺激法により該当の脳部位の機能を調整し(仮想病変を作成し)、それにより知覚への影響が観察されるのであれば、それはその領域が知覚を生じるために使われていた因果性を示す証拠となり得る。

本研究では、古くから時間知覚との関連が指摘されている小脳に着目し、近年実験心理学への導入が進められている経頭蓋直流電気刺激(tDCS)を適用した。そして心理物理学の手法と組み合わせた実験を行い、時間知覚と小脳機能の因果関係を明らかにすることを目的とした。特に、1秒以下と1秒以上の時間知覚に対して小脳の作用機序が切り替わる可能性という未だ見解の一致を見ない問題について検証した(図1)。

tDCSは頭皮上に装着した電極間に微弱な(2 mA)直流電気を流す方法である。一般的に、陽極直下の脳部位の興奮性は向上し、陰極直下の興奮性は低減する。非侵襲的脳刺激法の中でも数多く用いられている経頭蓋磁気刺激(TMS)は、刺激のたびに音と皮膚感覚を生じるため統制(偽刺激)条件の作成が難しい。一方、tDCSは実験参加者の電気刺激に対する気づきが弱いため、統制条件を設定しやすく、心理物理学実験に導入しやすいという長所を持つ。tDCSを時間知覚の研究に導入したのは後部頭頂皮質に適用した例¹などわずかであり、時間知覚研究への導入は新規性の高い試みとなる。

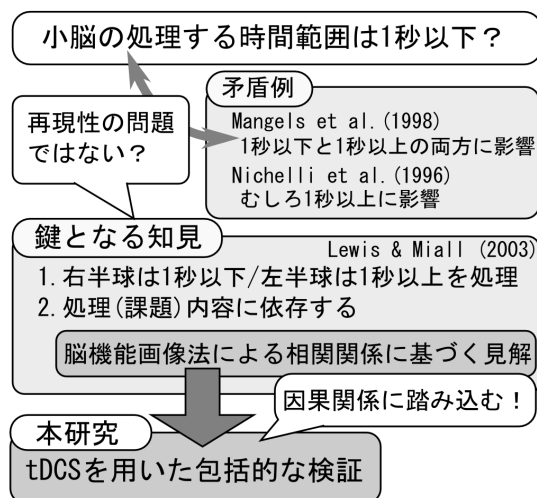


図1 本研究の背景と問題設定

2. 研究の目的

時間は「秒」、「分」、「時」、「日」、「年」といった異なる単位でその長さを表現することができる。私たちは言葉を話す際に一定のペースを保って発話をするが、ここで言うペースは1「秒」以下の範囲である。友人との待ち合わせに遅れないようにスケジュールを立てるのは「分」以上の刻みで行われるであろう。求められる行動に応じて関与する時間の範囲が異なるのであれば、時間を処理する神経プロセスが時間の範囲に応じて切り替わることは想像に難くない。

小脳が時間知覚に関わることは古くから指摘されており、近年においても関連する新たな知見が報告されている²。しかし、小脳の処理が及ぶ時間範囲は、度々の議論にもかかわらず、研究間で未だに見解の一致を見ない。優勢に見えるのは「小脳の処理する時間範囲は1秒以下に限定される」という主張であるが³、この主張は支持する研究が数多くあるという多数決的な考えにより得られたものである。実際には小脳の関与する時間範囲が1秒以上にも及ぶことを指摘する研究が少なからず存在する^{4,5}。これが単なる再現性の問題ではないことは、脳機能画像法の研究をレビューしたLewis & Miall⁶による議論から推測される。特に、小脳の右半球は1秒以下、左半球は1秒以上に関与する可能性があり、時間範囲に応じて処理する半球が切り替わるという小脳の動的な特性が垣間見える。

以下に述べる実験では、小脳の右半球が1秒以下の時間処理に関与するという見解に基づき、同部位の興奮性をtDCSにより調整した際の1秒以下および1秒以上の時間知覚に対する影響を検証することを目的とした。同部位の作用が運動課題を用いた研究で観測されやすいことから⁶、類似する課題である再生法を用いた実験を行った。

3. 研究の方法

実験方法の概略を述べる。実験は九州大学医学部で実施され、同学部倫理委員会から承認を得たプロトコルを用いて行われた。実験参加者は継時的に呈示される2つの音を聴いた後、その2音間の時間間隔と等しくなるように、モールス信号用の電鍵を2回押した(図2)。時間間隔には400, 1000, 1600 msの3種類があった。

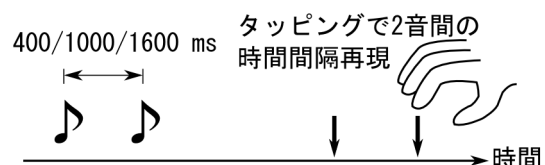


図2 再生課題

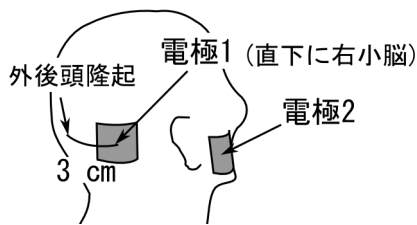


図3 tDCSの電極位置

再生された時間間隔の試行間でのばらつきを精度の指標とし、その値が右小脳に対する tDCS の前後でどのように変化するかを調べた。tDCS による刺激対象部位は、後頭隆起から右 3 cm に位置する頭皮箇所である (図 3)。この直下に右小脳があり⁷、この箇所に陽極電極もしくは陰極電極を装着した。対となる電極は右頬筋に装着した。電極の大きさは 5 × 5 cm であり、刺激強度は 2 mA、刺激時間は 25 分間であった。再生課題は刺激の最中ではなく、刺激実施前および終了後に行われた。以上に加えて偽刺激条件があり、この条件では 25 分間のうち最初の 5 分間のみ電流を流した。したがって、tDCS 条件には、陽極、陰極、偽刺激の 3 つがあった。

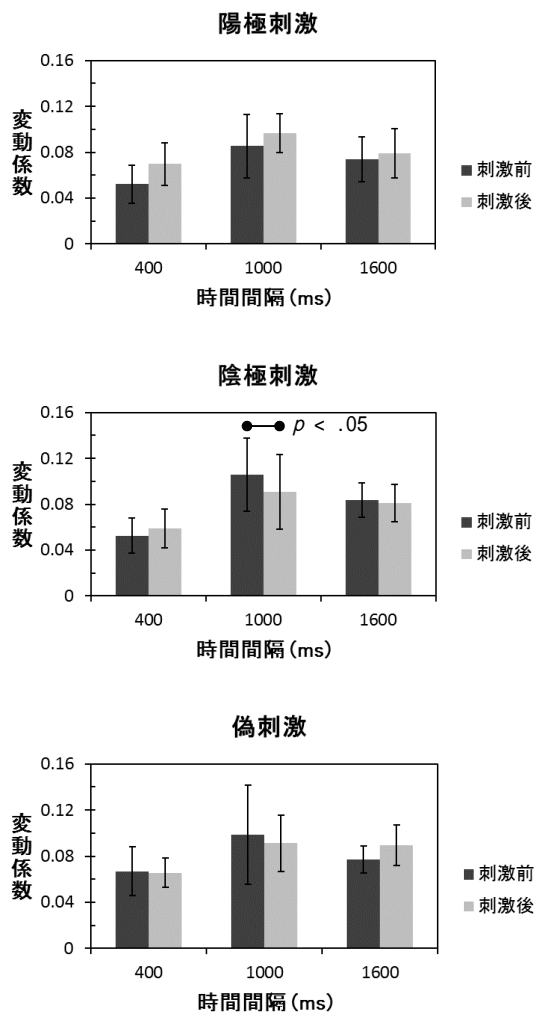


図4 変動係数の平均値。誤差範囲は実験参加者間 95%信頼区間。

4. 研究成果

実験参加者、ブロック、条件ごとに実施された 15 試行分 (外れ値、反応漏れなどによる除外有) の再生時間間隔から変動係数 (= 標準偏差 ÷ 平均値) を求めた。その結果の実験参加者 9 名間での平均値を図 4 に示す。tDCS 条件および時間条件ごとに、刺激前のブロックと刺激後のブロックとで平均値に差があるか否かを検定するために、対応のある *t* 検定を行った。結果、陰極刺激を行った後、1000 ms の時間間隔に対する変動係数が有意に減少したことがわかった ($t(8) = 2.892, p = .020, d = .964$)。つまり、再生時間間隔のばらつきが減り、時間処理の精度が改善した。

この結果だけでは小脳の時間処理メカニズムを筋道立てて論じることは難しい。しかし、tDCS の効果が限定された時間範囲に観測されたことから、実験手法をさらに洗練することで、小脳の時間処理における時間範囲依存性が解明されることが見込まれる。

以上の研究に加え、非侵襲的脳刺激法および時間知覚に関連する成果として、以下を述べた。

- A) 直流電気ではなく交流電気刺激を行う経頭蓋交流電気刺激 (tACS) を用いた研究では、20 Hz の交流電気刺激で運動野を刺激すると、TMS により誘発される筋電位振幅が増加し、さらにこの効果は交流電気の 90° の位相のときのみを観測されるという位相選択性が存在することが明らかになった (5. 雑誌論文)。
- B) 時間間隔の長さの知覚は、時間間隔を区切る音それ自体の長さによって影響を受ける。しかし、短音-長音-短音-長音... のように時間間隔が繰り返し連なる音列では、区切り音の長さの効果が見られなくなることがわかった。リズム的群化や聴取者の母語による影響も確認されなかった (5. 雑誌論文 ; 学会発表)。
- C) 時間と空間の情報が相互干渉を起こす現象 (Kappa 効果) の研究を総括し、脳内では時間と空間の知覚が明示的に定まるよりも先に、継時的に呈示される刺激間に運動およびその速度が仮定され、その運動速度に適合するように時間と空間が再構成される可能性があることを論じた (5. 雑誌論文 ; 学会発表)。

< 引用文献 >

Vicario, C. M., Martino, D., & Koch, G. (2013). Temporal accuracy and variability in the left and right posterior parietal cortex. *Neuroscience*, 245, 121-128.

Ohmae, S., Uematsu, A., & Tanaka, M. (2013). Temporally specific sensory signals for the detection of stimulus omission in the primate deep cerebellar nuclei. *Journal of Neuroscience*, *33*, 15432-15441.

Grondin, S. (2010). Timing and time perception: A review of recent behavioral and neuroscience findings and theoretical directions. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *72*, 561-582.

Mangels, J. A., Ivry, R. B., & Shimizu, N. (1998). Dissociable contributions of the prefrontal and neocerebellar cortex to time perception. *Cognitive Brain Research*, *7*, 15-39.

Nichelli, P., Alway, D., & Grafman, J. (1996). Perceptual timing in cerebellar degeneration. *Neuropsychologia*, *34*, 863-871.

Lewis, P. A., & Miall, R. C. (2003). Distinct systems for automatic and cognitively controlled time measurement: Evidence from neuroimaging. *Current Opinion in Neurobiology*, *13*, 250-255.

Galea, J. M., Jayaram, G., Ajagbe, L. & Celnik, P. (2009). Modulation of cerebellar excitability by polarity-specific noninvasive direct current stimulation. *Journal of Neuroscience*, *29*, 9115-9122.

5. 主な発表論文等
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計4件)

Nakazono, H., Ogata, K., Kuroda, T., & Tobimatsu, S. (2016). Phase and frequency-dependent effects of transcranial alternating current stimulation on motor cortical excitability. *Plos One*, *11*, e0162521, 1-13.
DOI: 10.1371/journal.pone.0162521
[査読有]

Kuroda, T., Tomimatsu, E., Grondin, S., & Miyazaki, M. (2016). Perceived empty duration between sounds of different lengths: Possible relation with repetition and rhythmic grouping. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *78*, 2678-2689.
DOI: 10.3758/s13414-016-1172-x
[査読有]

Kuroda, T., Grondin, S., Miyazaki, M.,

Ogata, K., & Tobimatsu, S. (2016). The kappa effect with only two visual markers. *Multisensory Research*, *29*, 703-725.
DOI: 10.1163/22134808-00002533
[査読有]

Kuroda, T., & Miyazaki, M. (2016). Perceptual versus motor spatiotemporal interactions in duration reproduction across two hands. *Scientific Reports*, *6*, article 23365, 1-10.
DOI: 10.1038/srep23365
[査読有]

〔学会発表〕(計7件)

黒田剛土. 知覚/運動系における時間と空間の相互作用. 第94回日本生理学会大会企画シンポジウム「多様な感覚に基づく身体機能の調節 基礎と臨床の視点から」, 2017年3月30日, アクアシティ浜松 (静岡県浜松市).

吉岡大貴, 上田誠也, 黒田剛土, 宮崎真. 等間隔リズムの形成による知覚系の時間解像度の向上. 第14回情報学ワークショップ, 2016年11月27日, 愛知県立大学 (愛知県長久手市).

黒田剛土, 吉岡大貴, 上田誠也, 宮崎真. リズムから見た Multiple Look Effect. 日本基礎心理学会第35回大会, 2016年10月30日, 東京女子大学 (東京都杉並区).

黒田剛土. 認知科学から見たリズム: 予測, 単位形成, 時間知覚. 認知的コミュニケーションワークショップ, 2016年9月21日, ホテルたつき (愛知県蒲郡市).

Kuroda, T. Spatiotemporal interactions in perception and action: New approaches to the kappa effect. Invited symposium "Time in the brain (Organizer: Grondin, S.)" in the 31st International Congress of Psychology (ICP2016), July 29, 2016, PACIFICO Yokohama (Yokohama, Kanagawa).

Kuroda, T., Tomimatsu, E., Grondin, S. & Miyazaki, M. Effects of repetition on the isochronous perception of sounds at different lengths. The 31st International Congress of Psychology, July 25, 2016, PACIFICO Yokohama (Yokohama, Kanagawa).

Kuroda, T., & Miyazaki M. Duration reproduction across two hands: Relation with the kappa effect. The 31st Annual Meeting of the International Society for

Psychophysics, August 18, 2015, Québec,
Canada.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://perceptrabbit.info/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

黒田 剛士 (KURODA, Tsuyoshi)

静岡大学・情報学部・特任助教

研究者番号: 5 0 7 2 5 9 0 5

(2) 研究協力者

飛松 省三 (TOBIMATSU, Shozo)

九州大学・医学部・教授

中園 寿人 (NAKAZONO, Hisato)

九州大学大学院・医学研究院・院生

宮崎 真 (MIYAZAKI, Makoto)

静岡大学・情報学部・教授