

تضعیف وابسته به فاز نوسانات غیر عادی سیستم عصبی

تقوی، سعید^۱؛ ولی زاده، علیرضا^۱

^۱ دانشکده فیزیک، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه، زنجان

چکیده

نوسانات همگام درون و بین نواحی مغز به پردازش عادی اطلاعات در مغز کمک می‌کنند؛ اما در برخی از بیماری‌های سیستم عصبی، این نوسانات در مقایسه با مغز سالم تقویت می‌شوند. به عنوان مثال می‌توان به نوسانات تقویت شده بتا (با فرکانس تقریبی ۲۰ هرتز) که بین قشر و هسته زیرتالاموسی در بیماران پارکینسونی ثبت شده است، اشاره کرد. تحریک عمیق مغز، درمانی مؤثر برای اختلالات عصبی متنوعی از جمله پارکینسون و لرزش اساسی است. در حال حاضر در روش تحریک عمیق مغز، قطاری از پالس‌های الکتریکی با بسامد ثابت توسط الکترودهایی که در مغز کاشته شده‌اند به محل‌های هدف در مغز اعمال می‌شوند. تحریک عمیق مغز حلقه بسته یک رهیافت جدید و امیدبخش است که تحریک بر اساس وضعیت بیمار اعمال می‌شود. در این رهیافت جدید به جای آنکه از قطاری از پالس‌های با بسامد ثابت استفاده کنند، تحریک بر اساس فعالیت مغزی بیمار اعمال می‌شود. این روش توانایی زیادی برای پیشرفت در بهره‌وری، تمرین‌پذیری و کاهش اثرات جانبی دارد. بهبود این روش وابسته به ابداع کردن یک راهبرد تحریک است که نوسانات فعالیت‌های عصبی که نشانه بیماری هستند را کاهش دهد. یکی از راه‌های رسیدن به این هدف مدل سازی‌های نظری و محاسباتی است. این مدل سازی‌ها توصیف خوبی از نحوه تغییر نوسانات مغزی بعد از اعمال تحریک ارائه می‌دهند. برای مثال، مدل سازی‌های محاسباتی پیشنهاد می‌کنند که دامنه نوساناتی که نشانه بیماری هستند را می‌توان با اعمال تحریک در فازهای مشخصی از نوسانات، اصلاح کرد. در این مطالعه، در نواحی‌ای که نوسانات نشانه بیماری را تولید می‌کنند به جای نوروها از نوسانگرهای جفت شده استفاده می‌کنیم و نشان می‌دهیم که اگر در فاز و دامنه مشخصی تحریک را اعمال کنیم، سیستم عصبی چطور به آن تحریک پاسخ خواهد داد. همچنین نشان می‌دهیم که با توجه به منحني پاسخ فاز نوسانگرها می‌توان بهترین زمان اعمال پالس را برای بیشترین کاهش در دامنه نوسان پیش‌بینی کرد.

واژه های کلیدی: نوسانات مغز، تحریک عمیق مغز حلقه بسته، منحنی پاسخ فاز، مدل کوراموتو.

Phase-Dependent Suppression of Neuronal Oscillations

Taghavi, Saeed¹; Valizadeh, Alireza¹

¹ Department of Physics, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences, Zanjan

Abstract

While synchronized oscillations within and between brain areas facilitate normal brain processing, excess synchrony usually is accompanied by a brain disease. A prominent example is the amplified persistent beta-frequency (~ 20 Hz) oscillations recorded from the cortex and subthalamic nucleus of Parkinsonian brains. Deep brain stimulation (DBS) is known to be an effective treatment for a variety of neurological disorders, including Parkinson's disease and essential tremor (ET). A common procedure is to impose a train of pulses with constant frequency via electrodes implanted into the brain. New 'closed-loop' approach involves delivering stimulation according to the ongoing brain activity and could improve in terms of efficiency and reduce side effects. The success of closed-loop DBS depends on the design of a stimulation strategy that minimizes oscillations in neural activity associated with symptoms. An important step to this end is to construct a mathematical model, which can describe how the brain oscillations should change when stimulation is applied at a particular state of the system. In this study, we have used a network of coupled oscillators to model the neuronal populations that generate pathological oscillations. We have shown that the amplitude of collective oscillations could be modulated depending on the specific phase at which the stimulation is applied. Also, we could predict the good time for applying stimulation to get the maximum reduction in the oscillation amplitude based on the phase response curve (PRC) of oscillators.

Keywords: Brain Oscillations, Closed-Loop Deep Brain Stimulation, Phase Response Curve, Kuramoto Model.

PACS No.

- [1] Ko, Tae-Wook, and G. Bard Ermentrout. "Phase-response curves of coupled oscillators." *Physical Review E* **79**, no. 1 (2009): 016211.
- [2] Holt, Abbey B., Dan Wilson, Max Shinn, Jeff Moehlis, and Theoden I. Netoff. "Phasic burst stimulation: a closed-loop approach to tuning deep brain stimulation parameters for Parkinson's disease." *PLoS computational biology* **12**, no. 7 (2016).
- [3] Asllani, Malbor, Paul Expert, and Timoteo Carletti. "A minimally invasive neurostimulation method for controlling abnormal synchronisation in the neuronal activity." *PLoS computational biology* **14**, no. 7 (2018): e1006296.
- [4] Holt, Abbey B., Eszter Kormann, Alessandro Gulberti, Monika Pötter-Nerger, Colin G. McNamara, Hayriye Cagnan, Magdalena K. Baaske et al. "Phase-dependent suppression of beta oscillations in Parkinson's disease patients." *Journal of Neuroscience* **39**, no. 6 (2019): 1119-1134.
- [5] Weerasinghe, Gihan, Benoit Duchet, Hayriye Cagnan, Peter Brown, Christian Bick, and Rafal Bogacz. "Predicting the effects of deep brain stimulation using a reduced coupled oscillator model." *PLoS computational biology* **15**, no. 8 (2019): e1006575.