

The effect of transcranial direct current stimulation on brain wave regulation and attentional performance in individuals with generalized anxiety disorder

MohammadReza Gholipour Fallahy¹ , Leila Mehdizadeh Fanid^{1*} ,
Shahram Vahedy², Farrokh Bakht shady³, Mahdi Jafari Asl⁴

1. Department of Cognitive Neuroscience, Faculty of Educational Sciences and Psychology, University of Tabriz, Tabriz, Iran
2. Department of Educational Sciences, Faculty of Educational Sciences and Psychology, University of Tabriz, Tabriz, Iran
3. Psychiatrist, University of Tabriz, Tabriz, Iran
4. Department of Biomedical Engineering, Faculty of Engineering, Shahed University, Tehran, Iran

Abstract

Introduction: Generalized Anxiety Disorder (GAD) is characterized by chronic worry and impairments in cognitive functions, particularly attention associated with alterations in brain wave patterns. Neurophysiological evidence highlights the critical role of alpha and theta oscillations in emotion regulation and attentional processes. The present study aimed to investigate the effectiveness of transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) in modulating the absolute power of brain waves and improving visual and auditory attention in individuals with GAD.

Methods: This randomized, single-blind clinical trial was conducted on 24 individuals aged 18-40 years diagnosed with GAD in Tabriz, Iran. Following psychiatric evaluation and screening using the Spitzer GAD Questionnaire, participants were randomly assigned to experimental and control groups (n=12 each). Visual and auditory attentional performance and absolute power of brain waves were assessed using an integrated attention test and quantitative electroencephalography (qEEG) before and after the intervention. The experimental group received 17 sessions of tDCS (2 mA, 24 minutes), targeting the orbitofrontal cortex, while the control group received sham stimulation. Data were analyzed using SPSS-20.

Results: Statistical analyses revealed a significant association between changes in brain wave activity and levels of visual and auditory attention in individuals with GAD. Specifically, absolute power of theta and delta bands showed a significant decrease, whereas alpha and beta power demonstrated a significant increase. Moreover, mean visual attention scores increased from 596.86 to 1836.34, and auditory attention scores rose from 503.57 to 1850.30, indicating substantial improvement following the intervention.

Conclusion: The findings suggest that tDCS effectively modulates electrophysiological brain activity and leads to significant improvements in visual and auditory attention in individuals with GAD. These results support using tDCS as a complementary, non-invasive intervention in treating anxiety disorders.

Received: 12 Apr. 2025

Revised: 17 Feb. 2026

Accepted: 11 Mar. 2026

Keywords


Transcranial direct current stimulation
Generalized anxiety disorder
QEEG
Visual and auditory attention
Brain waves

Corresponding author

Leila Mehdizadeh Fanid, Department of Cognitive Neuroscience, Faculty of Educational Sciences and Psychology, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Email: L-mehdizadeh@tabrizu.ac.ir



 doi.org/10.30514/icss.27.4.16

Citation: Gholipour Fallahy MR, Mehdizadeh Fanid L, Vahedy Sh, Bakht shady F, Jafari Asl M. The effect of transcranial direct current stimulation on brain wave regulation and attentional performance in individuals with generalized anxiety disorder. *Advances in Cognitive Sciences*. 2025;27(4):16-27.

Extended Abstract

Introduction

Generalized Anxiety Disorder (GAD) is a chronic psychiatric condition, primarily characterized by excessive and uncontrollable worry, significantly impacting both cognitive and emotional functioning. This disorder is

frequently associated with disturbances in attention and concentration, impairing an individual's ability to process information efficiently and respond to environmental demands. Elevated anxiety levels commonly correlate

with deficits in attentional control, which further exacerbate the negative impact of the disorder on daily life.

Neurophysiological studies have provided valuable insights into the brain activity associated with GAD, specifically focusing on the power of brainwaves in regulating cognitive functions. Among the various brainwave frequencies, theta and alpha waves have garnered particular interest in the context of anxiety regulation and attentional processes. Theta waves (4-8 Hz) are believed to play a significant role in regulating cognitive functions, particularly in attention, while alpha waves (8-12 Hz) are associated with relaxation and inhibition of irrelevant information. Studies have shown that absolute theta power is closely linked with attentional performance, while both alpha and theta waves are thought to modulate emotional regulation, including anxiety levels.

Given the critical role of these brainwaves in cognitive and emotional functioning, the present study seeks to explore the efficacy of transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) in modulating the absolute power of alpha and theta brainwaves. Moreover, this study aims to assess the impact of tDCS on improving visual and auditory attention in individuals diagnosed with GAD. This approach is based on the hypothesis, modulating brainwave activity through non-invasive neurostimulation techniques like tDCS may enhance attentional performance and reduce anxiety-related cognitive deficits.

Methods

This clinical study employed a single-blind, randomized trial design to evaluate the effectiveness of tDCS on individuals with GAD. Twenty-four participants, aged between 18 and 40 years, were recruited from medical centers in Tabriz, Iran, between 2023 and 2024. Before participation, all participants underwent clinical evaluations conducted by a licensed psychiatrist. The GAD 7-item scale was used for screening to assess the impact

of GAD on individual, social, familial, and occupational functioning.

The participants were randomly assigned to either the experimental group (n=12) or the control group (n=12). Both groups underwent pre- and post-intervention assessments using the Integrated Visual and Auditory Continuous Performance Test (IVA-2) to measure visual and auditory attention. Additionally, quantitative electroencephalography (qEEG) was used to record and analyze the absolute power of alpha and theta brainwaves before and after the intervention.

The experimental group received tDCS over 17 sessions, administered every other day. Each session involved 24 minutes of stimulation at an intensity of 2 mA. The stimulation targeted the orbitofrontal cortex, with electrodes placed at Fp1 (anode) and Fp2 (cathode). The control group received sham stimulation using the same electrode placements but with no active current. After the intervention, both groups were reassessed using qEEG to measure changes in alpha and theta wave power and the IVA-2 to evaluate improvements in attentional performance.

Results

Statistical analyses revealed a significant relationship between the activity of theta and alpha brainwaves and visual and auditory attention in individuals with GAD. Specifically, the absolute power of theta and delta waves decreased, while the absolute power of alpha and beta waves increased. The results of which suggest an enhancement in the brain's ability to regulate attentional and emotional processes.

The attentional performance of participants also improved significantly following the intervention. Visual attention scores increased from 596.86 to 1836.34, while auditory attention scores rose from 503.57 to 1850.30. These results indicate that tDCS not only modulated brainwave activity but also positively impact on cognitive functions,

particularly visual and auditory attention.

The findings of this study provide strong evidence for the effectiveness of tDCS in modulating brainwave activity, specifically alpha and theta waves, and improving attentional performance in individuals with GAD. These results align with previous studies that has demonstrated the beneficial effects of non-invasive brain stimulation techniques, such as tDCS, in enhancing cognitive functions and regulating emotional processes.

The decrease in theta wave power observed in this study may reflect a reduction in the cognitive disruptions caused by anxiety. Theta waves are often associated with increased worry and rumination, which are core features of GAD. By modulating theta wave activity, tDCS may help alleviate the attentional deficits typically observed in individuals with anxiety. The increase in alpha wave power suggests a shift towards a more relaxed and focused state, crucial for improving attentional control and reducing distractibility.

The improvements in both visual and auditory attention observed in this study are particularly noteworthy, as attentional deficits are one of the most common cognitive impairments in individuals with GAD. These findings suggest that tDCS can enhance both sensory modalities, providing a more holistic approach to improving cognitive performance in individuals with anxiety disorders.

Conclusion

In conclusion, this study demonstrates that tDCS is an effective intervention for modulating the absolute power of alpha and theta brainwaves and improving attentional performance in individuals with GAD. These results support the potential use of tDCS as a therapeutic tool for enhancing cognitive functions and alleviating anxiety-related impairments in attention. However, further research is needed to optimize tDCS protocols, investigate the long-term effects of this neuromodulation technique,

and explore its potential applications in clinical settings for anxiety-related disorders.

Future studies should focus on refining the stimulation parameters, such as electrode placement, current intensity, and duration of treatment, to maximize the therapeutic benefits of tDCS. Additionally, longitudinal studies are required to assess the long-term efficacy of tDCS and determine whether its effects are sustained over time. Further studies into the neural mechanisms underlying the observed changes in brainwave activity and attentional performance will also be valuable for understanding the precise mechanisms of action of tDCS in anxiety disorders.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

In conducting the research, ethical considerations were observed in accordance with the guidelines of the Ethics Committee of the University of Tabriz (IR.TABRIZU.REC.1402.131). The ethical principles observed in the study included informed consent of participants, confidentiality of information, and permission for participants to withdraw from the study at any stage.

Funding

This study was extracted from the PhD dissertation of the first author at the Department of Cognitive Neuroscience, Faculty of Educational Sciences and Psychology, University of Tabriz, Tabriz, Iran. No financial support was received for this study.

Authors' contributions

The first author drafted the manuscript. The second author performed the overall revisions. The third author reviewed and approved the statistical analyses. The fourth author, co-corresponding author, was responsible for translation, editing, and final review of the manuscript.

Acknowledgments

None.

Conflict of interest

The authors declared no conflict of interest.

تأثیر تحریک جریان مستقیم فراجمجه‌ای بر تنظیم امواج مغزی و عملکرد توجه افراد دارای اختلال اضطراب فراگیر

محمد رضا قلی‌پور فلاحی^۱ (ID)، لیلا مهدی‌زاده فانید^{۱*} (ID)، شهرام واحدی^۲، فرخ بخت شادی^۳، مهدی جعفری اصل^۴

۱. گروه علوم اعصاب شناختی، دانشکده علوم تربیتی و روان‌شناسی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۲. گروه علوم تربیتی، دانشکده علوم تربیتی و روان‌شناسی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۳. روان‌پزشک، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۴. گروه مهندسی پزشکی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

چکیده

مقدمه: اختلال اضطراب فراگیر با نگرانی مزمن و اختلال در کارکردهای شناختی و هیجانی، به ویژه توجه، همراه است و با تغییر در الگوهای امواج مغزی ارتباط دارد. شواهد نوروفیزیولوژیکی نقش امواج آلفا و تتا را در تنظیم هیجانات و فرایندهای توجه برجسته می‌کنند. مطالعه حاضر با هدف بررسی اثربخشی تحریک الکتریکی جریان مستقیم فراجمجه‌ای بر تعدیل توان مطلق امواج مغزی و بهبود توجه دیداری و شنیداری انجام شد.

روش کار: این پژوهش به صورت کارآزمایی بالینی تصادفی و یک-سو-کور بر روی ۲۴ فرد ۱۸ تا ۴۰ ساله مبتلا به اختلال اضطراب فراگیر در شهریور ماه ۱۴۰۳-۱۴۰۲ در شهر تبریز انجام شد. پس از ارزیابی با پرسشنامه اضطراب فراگیر Spitzer، شرکت‌کنندگان به طور تصادفی به دو گروه ۱۲ نفره آزمایش و کنترل گمارش شدند. عملکرد توجه دیداری-شنیداری و توان مطلق امواج مغزی با استفاده از آزمون یکپارچه توجه و الکتروانسفالوگرافی کمی پیش و پس از مداخله ارزیابی شد. گروه آزمایش طی ۱۷ جلسه تحریک با شدت ۲ میلی‌آمپر به مدت ۲۴ دقیقه بر ناحیه اوربیتوفرونتال دریافت کرد و گروه کنترل تحریک ساختگی داشت. داده‌ها با نرم‌افزار SPSS-20 تحلیل آماری شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان‌دهنده وجود رابطه معنادار میان تغییرات فعالیت امواج مغزی و سطوح توجه دیداری و شنیداری بود. توان مطلق امواج تتا و دلتا کاهش معنادار یافت، در حالی که توان امواج آلفا و بتا افزایش معنادار نشان داد. میانگین نمرات توجه دیداری از ۵۹۶/۸۶ به ۱۸۳۶/۳۴ و توجه شنیداری از ۵۰۳/۵۷ به ۱۸۵۰/۳۰ افزایش یافت.

نتیجه‌گیری: تحریک الکتریکی جریان مستقیم فراجمجه‌ای می‌تواند به طور مؤثری فعالیت‌های الکتروفیزیولوژیک مغز را تنظیم کرده و موجب بهبود توجه دیداری و شنیداری در افراد مبتلا به اختلال اضطراب فراگیر شود. این نتایج از کاربرد این مداخله به عنوان مداخله مکمل و غیرتهاجمی در درمان اختلالات اضطرابی را شامل می‌شود.

دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۲۳

اصلاح نهایی: ۱۴۰۴/۱۱/۲۸

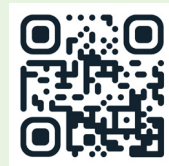
پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۲۰

واژه‌های کلیدی

تحریک الکتریکی جریان مستقیم فراجمجه‌ای
اختلال اضطراب فراگیر
الکتروانسفالوگرافی کمی
توجه دیداری-شنیداری
امواج مغزی

نویسنده مسئول

لیلا مهدی‌زاده فانید، گروه علوم اعصاب شناختی، دانشکده علوم تربیتی و روان‌شناسی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
ایمیل: L-mehdizadeh@tabrizu.ac.ir



doi.org/10.30514/ics.27.4.16

مقدمه

و دشواری در تمرکز است که حداقل به مدت شش ماه تداوم داشته باشند (۱). شیوع ۱۲ ماهه این اختلال در جمعیت عمومی بین ۱/۸ تا ۲/۲ درصد گزارش شده است (۲) و اختلال اضطراب فراگیر علاوه بر پیامدهای روان‌شناختی، با افزایش خطر ابتلا به بیماری‌های جسمی و سایر اختلالات روان‌پزشکی از جمله افسردگی و سوءمصرف مواد نیز همراه است.

اختلال اضطراب فراگیر (Generalized anxiety disorder (GAD)) یکی از اختلال‌های مزمن روان‌شناختی است که با نگرانی پایدار، فراگیر و غیر قابل کنترل مشخص می‌شود (۱). بر اساس معیارهای نسخه پنجم راهنمای تشخیصی و آماری اختلالات روانی (DSM-5)، تشخیص این اختلال مستلزم وجود مجموعه‌ای از علائمی مانند نگرانی شدید و مداوم، بی‌قراری، خستگی‌پذیری، تنش عضلانی، تحریک‌پذیری

هیجان، مدیریت استرس، تصمیم‌گیری و یکپارچگی پردازش‌های شناختی و هیجانی دارد و به طور مستقیم با مکانیسم‌های زیربنایی اضطراب در ارتباط است (۲۵-۲۰). از این رو، بررسی اثر تحریک این ناحیه می‌تواند به درک دقیق‌تری از تأثیر تحریک الکتریکی جریان مستقیم فراجمجمه‌ای بر بهبود کارکردهای شناختی، به ویژه توجه، در افراد مبتلا به اختلال اضطراب فراگیر منجر شود.

بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثربخشی تحریک الکتریکی جریان مستقیم فراجمجمه‌ای بر قشر اوربیتوفرونتال و ارزیابی تأثیر آن بر عملکرد توجه دیداری و شنیداری در افراد مبتلا به اختلال اضطراب فراگیر انجام شد. همچنین، این مطالعه در پی پاسخ به این پرسش است که آیا تحریک تحریک الکتریکی جریان مستقیم فراجمجمه‌ای در این ناحیه می‌تواند به عنوان یک رویکرد مکمل مؤثر در بهبود نقص‌های توجهی مرتبط با اختلال اضطراب فراگیر در نمونه ایرانی مورد استفاده قرار گیرد.

روش کار

پژوهش حاضر به صورت کارآزمایی بالینی تصادفی با پیش‌آزمون و پس‌آزمون و با گروه کنترل و آزمایش انجام شد. جامعه آماری شامل افراد مبتلا به GAD مراجعه کننده به مرکز علوم شناخت سلامت تبریز در بازه زمانی شهریور ماه ۱۴۰۲ تا ۱۴۰۳ بودند. برای انتخاب نمونه، پس از مصاحبه نیمه‌ساختاریافته بالینی توسط روان‌پزشک و ارزیابی با استفاده از آزمون GAD-7، افراد واجد شرایط مشخص شدند.

معیارهای ورود به مطالعه شامل تشخیص اختلال توسط روان‌پزشک، کسب نمره بالاتر از ۱۵ در آزمون GAD-7، راست دست بودن برای همسان‌سازی ارزیابی امواج مغزی با استفاده از نرم‌افزار NeuroGuide، عدم سوءمصرف مواد، نداشتن سایر اختلالات روان‌پزشکی، عدم مصرف داروهای روان‌پزشکی و رضایت کامل از شرکت در پژوهش بود. معیارهای خروج از پژوهش شامل عدم تمایل به ادامه درمان و غیبت بیش از یک جلسه در طول دوره درمان بود.

نمونه‌گیری از نوع هدفمند بود که ۲۴ نفر از افراد ۱۸ تا ۴۰ سال از هر دو جنسیت به صورت تصادفی و یک‌سوکور در دو گروه کنترل و آزمایش (هر کدام ۱۲ نفر) انتخاب شدند. انتخاب این حجم نمونه بر اساس مطالعات مشابه در حوزه tDCS و پژوهش‌های آزمایشی با ماهیت شناختی انجام شد که معمولاً حجم نمونه‌ای بین ۲۰ تا ۳۰ نفر را برای دستیابی به توان آماری کافی گزارش کرده‌اند. همچنین با توجه به محدودیت‌های عملی و ماهیت تک‌جلسه‌ای مداخله، تعداد ۲۴ شرکت‌کننده امکان کنترل مناسب متغیرهای مخدوش‌کننده و انجام مقایسه معتبر بین گروه‌ها را

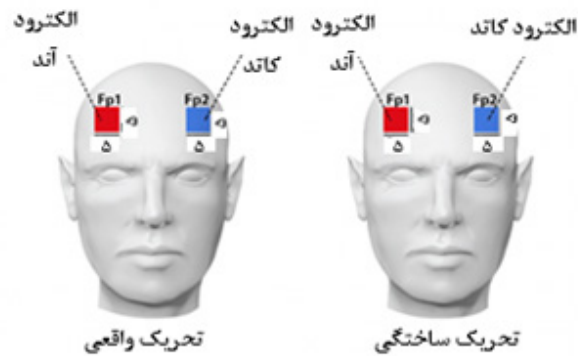
از دیدگاه بالینی، اضطراب به عنوان پاسخی طبیعی و انطباقی در برابر تهدیدات تلقی می‌شود که فرد را برای واکنش‌های «جنگ یا گریز» آماده می‌سازد؛ با این حال، در افراد مبتلا به اختلال اضطراب فراگیر، نگرانی‌ها به صورت مداوم، افراطی و نامتناسب با موقعیت بروز می‌کنند و منجر به اختلال در عملکرد روزمره می‌شوند (۵-۳). یکی از پیامدهای مهم این اختلال، بروز نارسایی در کارکردهای شناختی، به ویژه توجه و تمرکز است. اختلال در تمرکز به عنوان یکی از معیارهای تشخیصی اختلال اضطراب فراگیر شناخته می‌شود و معمولاً به صورت کاهش توانایی حفظ توجه، افت کارکردهای اجرایی و کندی پردازش اطلاعات تظاهر می‌یابد (۶). این مشکلات شناختی می‌توانند تأثیرات منفی قابل توجهی بر عملکرد تحصیلی، شغلی و کیفیت زندگی افراد مبتلا داشته باشند.

در سال‌های اخیر، در کنار درمان‌های دارویی و روان‌درمانی، استفاده از روش‌های تحریک غیرتهاجمی مغز به عنوان رویکردهای مکمل درمانی مورد توجه قرار گرفته است. تحریک الکتریکی جریان مستقیم فراجمجمه‌ای (Transcranial direct current (tDCS) stimulation) یکی از این روش‌هاست که به دلیل ایمنی نسبی، سهولت اجرا و عوارض جانبی محدود، در درمان اختلالات هیجانی و شناختی از جمله اضطراب، افسردگی و مشکلات توجه به طور گسترده بررسی شده است (۸). مطالعات نشان داده‌اند که تحریک الکتریکی جریان مستقیم فراجمجمه‌ای می‌تواند با تعدیل فعالیت نواحی پیش‌پیشانی، منجر به بهبود تنظیم هیجانی و ارتقای کارکردهای شناختی شود.

در همین راستا، پژوهش‌های پیشین گزارش کرده‌اند که افزایش سطح اضطراب با کاهش کارآمدی سامانه‌های توجه همراه است و تحریک نواحی پیش‌پیشانی می‌تواند این نقص‌ها را تا حدی جبران کند. به عنوان مثال، Frings و همکاران نشان دادند که تحریک ناحیه DLPFC منجر به بهبود عملکرد در آزمون‌های توجه و کاهش خطاهای شناختی می‌شود (۱۰). همچنین، Wu و همکاران (۱۱) و Qi و همکاران (۱۲) گزارش کردند که تحریک نواحی پیش‌پیشانی می‌تواند با تعدیل فعالیت ساختارهای مرتبط با اضطراب، منجر به کاهش علائم اضطرابی شود. یافته‌های مشابهی در مطالعات Batista و همکاران (۱۹)، Zheng و همکاران (۲۰) و Liu و همکاران (۲۱) نیز گزارش شده است.

با وجود این، بخش عمده‌ای از پژوهش‌های پیشین تمرکز خود را بر نواحی DLPFC و الکترودهای F_3 و F_4 معطوف کرده‌اند و مطالعات محدودی به بررسی نقش قشر اوربیتوفرونتال (OFC) در مداخلات مبتنی بر تحریک الکتریکی جریان مستقیم فراجمجمه‌ای پرداخته‌اند. این در حالی است که قشر اوربیتوفرونتال نقش مهمی در تنظیم

حالت استراحت انجام شد تا تک تک امواج ثبت و مطالعه شوند. پس از انجام این ارزیابی‌ها، همان‌طور که در شکل ۱ ارائه شده است، تحریک الکتریکی جریان مستقیم فراجمجمه‌ای (tDCS) به گروه‌های آزمایش و کنترل اعمال گردید.



شکل ۱. موقعیت قرارگیری کانال‌ها با tDCS

این نواحی را در پردازش هیجان، تنظیم اضطراب و کنترل شناختی تأیید کرده‌اند. در مجموع، این پروتکل بر اساس استانداردهای پژوهشی، شواهد اثرگذاری و ملاحظات ایمنی طراحی شده است. پس از اتمام جلسات، به منظور ثبت تغییرات در امواج مغزی از نقشه مغزی استفاده شد و برای ارزیابی تغییرات در زمینه توجه دیداری و شنیداری، آزمون IVA-2 دوباره مورد بررسی قرار گرفت. اطلاعات به دست آمده از الکتروانسفالوگرافی با استفاده از نرم‌افزار نوروگاید به QEEG تبدیل شد تا توان مطلق امواج مغزی تجزیه و تحلیل گردد. برای تجزیه و تحلیل دقیق‌تر و بررسی تأثیر متغیرها، از روش‌های آماری استنباطی و تحلیل کوواریانس چندمتغیری (MANCOVA) به کمک نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ استفاده گردید.

یافته‌ها

طبق نتایج جدول ۱، در مرحله پس‌آزمون میانگین نمرات برای بررسی اثربخشی tDCS، متغیرهای وابسته توجه دیداری و شنیداری افزایش یافته‌اند. همچنین، برای ارزیابی نرمال بودن توزیع متغیرهای توجه دیداری و شنیداری پیش و پس از مداخله، از آزمون شاپیرو-ویلک و شاخص‌های کجی و کشیدگی استفاده شد. نتایج نشان داد که تمامی متغیرها در هر دو گروه آزمایش و کنترل دارای توزیع نرمال هستند ($P > 0.05$). شاخص‌های کجی برای متغیرها در محدوده ۰/۳۱ تا ۰/۲۸ و شاخص‌های کشیدگی در محدوده ۰/۴۲ تا ۰/۳۷ قرار داشتند، که نشان‌دهنده انطباق با معیارهای نرمال بودن و امکان استفاده از نتایج

فراهم می‌کرد. پیش از شروع مداخله، از تمامی افراد شرکت‌کننده آزمون یکپارچه عملکرد دیداری-شنیداری (IVA-2) و برای بررسی انحرافات احتمالی در امواج مغزی، آزمون نقشه‌برداری مغزی (الکتروانسفالوگرافی کمی (Quantitative electroencephalography (QEEG)) در

فرایند انجام تحریک به طور غیرتهاجمی به این صورت مورد بررسی قرار گرفت که الکترودهایی با پدهای آغشته به آب نمک و با اندازه ۵ سانتی‌متر روی پوست سر مشارکت‌کنندگان قرار داده شد. از طریق این الکترودها، جریان‌های الکتریکی ضعیفی با شدت ۲ میلی‌آمپر به مدت زمان مشخص و مطابق با هر پروتکل به نواحی مغزی هر دو گروه ارسال گردید.

در پژوهش حاضر، پروتکل تحریک با شدت ۲ میلی‌آمپر، مدت زمان ۲۴ دقیقه و ۱۷ جلسه یک روز در میان در نواحی Fp1 و Fp2 انتخاب شد. علت انتخاب این پروتکل بر اساس شواهد مطالعات معتبر در زمینه tDCS است که نشان می‌دهند شدت جریان ۲ میلی‌آمپر، ایمن‌ترین و در عین حال مؤثرترین شدت برای ایجاد تغییرات پایدار در تحریک‌پذیری قشری است. همچنین، مدت زمان ۲۰ تا ۳۰ دقیقه در اغلب پژوهش‌های شناختی و هیجانی به عنوان بازه استاندارد معرفی شده و امکان ایجاد تغییرات پایدارتر در شبکه‌های قشری را فراهم می‌کند. افزون بر این، تعداد ۱۵ تا ۲۰ جلسه در مداخلات مبتنی بر tDCS به طور گسترده برای ایجاد اثرات تجمعی و تقویت‌کننده توصیه شده است؛ از این رو ۱۷ جلسه در این مطالعه در محدوده بهینه و رایج قرار دارد. فاصله‌گذاری یک روز در میان نیز مطابق یافته‌های نوروفیزیولوژیک انجام شده که نشان می‌دهند این فاصله از سازگاری سریع و کاهش حساسیت عصبی جلوگیری کرده و پایداری اثرات نوروپلاستیک را افزایش می‌دهد. انتخاب نواحی Fp1 و Fp2 نیز بر پایه نقشه‌های استاندارد EEG و مطالعات متعدد انجام شده است که نقش

بررسی همگنی شیب رگرسیون پیش‌آزمون و پس‌آزمون این متغیرها در گروه‌های آزمایش و کنترل نشان داد که شیب رگرسیون در هر دو گروه برابر است. این نتایج نشان می‌دهد که همگنی واریانس‌ها در مورد متغیرهای پژوهش برقرار بوده است.

جدول ۱. آمار توصیفی نمرات پیش‌آزمون و پس‌آزمون دو گروه آزمایش و کنترل

پارامتر	پیش‌آزمون			پس‌آزمون		
	آزمایش	کنترل	کنترل	آزمایش	کنترل	کنترل
	میانگین	انحراف معیار	P مقدار	میانگین	انحراف معیار	P مقدار
توجه تقسیم شده دیداری	۱۷۶/۰۸	۰/۲۱۳	۰/۱۱۱	۱۷۶/۲۳	۰/۱۶۱	۰/۲۳۵
توجه تقسیم شده شنیداری	۱۹۴/۳۱	۰/۱۲۶	۰/۲۳۸	۱۸۷/۰۸	۰/۱۶۴	۰/۲۴۱
توجه مداوم دیداری	۲۵۵/۳۸	۰/۲۴۳	۰/۰۹۵	۲۳۹/۶۲	۰/۲۱۵	۰/۱۰۳
توجه مداوم شنیداری	۲۲۵/۳۱	۰/۲۰۵	۰/۱۳۸	۲۲۵	۰/۱۳۷	۰/۳۴۱
توجه متمرکز دیداری	۱۶۰/۳۸	۰/۲۴۶	۰/۰۸۶	۱۵۹/۶۹	۰/۲۲۸	۰/۰۶۴
توجه متمرکز شنیداری	۱۴۳/۹۲	۰/۱۷۷	۰/۲۱۳	۱۳۶/۶۹	۰/۱۶۲	۰/۲۱۵
توجه انتخابی دیداری	۲۳۹/۰۸	۰/۱۹۸	۰/۰۹۸	۲۲۴/۳۸	۰/۱۹۸	۰/۱۷۰
توجه انتخابی شنیداری	۲۲۸/۷۷	۰/۲۰۴	۰/۱۴۴	۲۰۶/۷۷	۰/۲۰۰	۰/۱۶۴

پارامتر	پیش‌آزمون			پس‌آزمون		
	میانگین	انحراف معیار	P مقدار	میانگین	انحراف معیار	P مقدار
جابجایی توجه دیداری	۳۵۲/۳۱	۰/۱۹۳	۰/۲۰۷	۳۹۸/۶۹	۰/۱۸۶	۰/۳۰۰
جابجایی توجه شنیداری	۳۲۲/۶۹	۰/۱۵۷	۰/۲۷۰	۳۵۵/۳۱	۰/۲۰۰	۰/۲۵۶

جدول ۲ گزارش شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در گروه آزمایش، بهبود قابل توجهی در تمام مولفه‌های توجه و تغییرات مثبت در الگوهای امواج مغزی مشاهده شد، در حالی که گروه کنترل تغییر قابل توجهی نشان نداد.

تحلیل کوواریانس چندمتغیره نشان داد که تحریک tDCS تأثیر معناداری بر مولفه‌های توجه دیداری و شنیداری و توان مطلق امواج مغزی داشت. میانگین‌ها و انحراف معیارها برای گروه آزمایش و کنترل پس از مداخله در

جدول ۲. نتایج تحلیل کوواریانس چند متغیره در اثربخشی tDCS بر مولفه‌های توجه دیداری و شنیداری و امواج مغزی

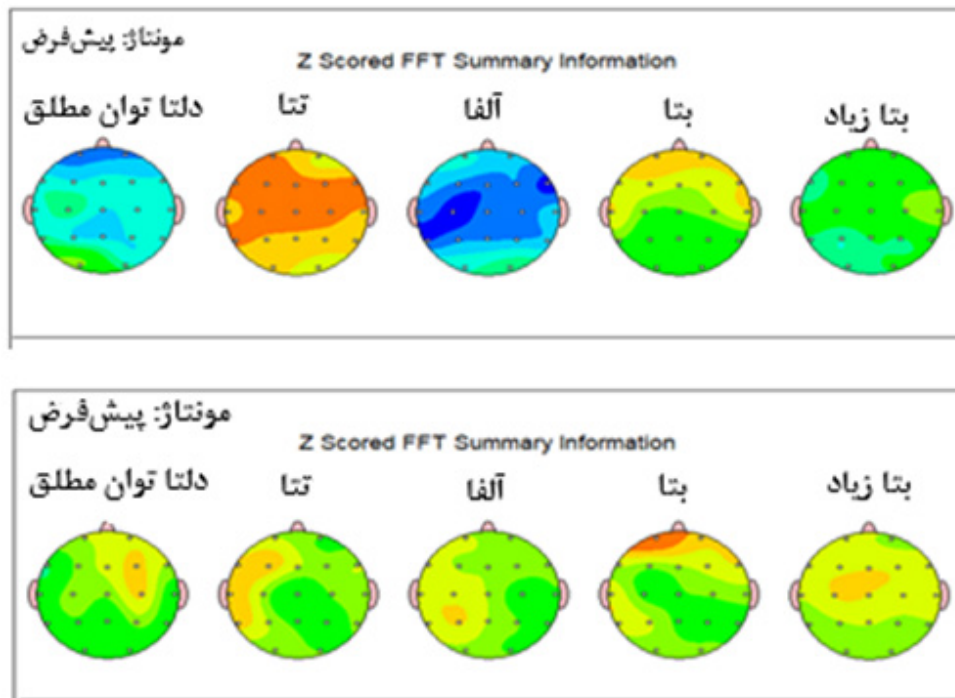
پارامتر	پیش‌آزمون			پس‌آزمون		
	میانگین	انحراف معیار	تعداد	میانگین	انحراف معیار	تعداد
دلتا	۵/۲۶	۰/۵۹	۱۲	۲/۸۰	۰/۶۷	۱۲
تتا	۹/۶۶	۰/۵۹	۱۲	۵/۰۶	۰/۷۰	۱۲
آلفا	۸/۹۳	۰/۵۹	۱۲	۱۲/۲۶	۱/۷۵	۱۲
بتا	۵/۶۶	۱/۸۳	۱۲	۸/۸۰	۰/۷۷	۱۲
توجه دیداری	۱۲۰/۱۱۳	۱/۵۵	۱۲	۱۹۰/۱۸۶	۳/۶۴	۱۲
توجه شنیداری	۱۱۸/۷۳	۱/۹۸	۱۲	۱۵۰/۳۳	۳/۸۸	۱۲

واریانس خطای متغیرها بین گروه‌ها همگن است ($P > 0.05$). با رعایت پیش‌فرض‌های آماری، نتایج تحلیل نشان داد که تحریک tDCS تأثیر قابل توجهی بر مولفه‌های توجه دیداری و شنیداری و توان مطلق امواج مغزی دارد. به ویژه، پس از مداخله در گروه آزمایش، توان امواج آلفا به طور معناداری افزایش و توان امواج تتا و بتا کاهش یافت. این تغییرات نشان‌دهنده بهبود عملکردهای توجهی و کاهش اضطراب پس از تحریک tDCS است. در مقابل، گروه کنترل تغییرات

پیش از انجام تحلیل کوواریانس چندمتغیره، پیش‌فرض‌های لازم نیز بررسی شدند. نتایج نشان داد که ماتریس کوواریانس متغیرهای وابسته در گروه‌های آزمایش و کنترل همگن است ($F=1/62$ ، $P > 0.05$ ، $\text{Box}'s M=44/66$ ، همچنین، آزمون کرویت بارتلت تأیید کرد که متغیرهای وابسته با یکدیگر همبستگی معناداری دارند ($df=20$ ، $X^2=169/85$ ، $P < 0.01$ ، که امکان تشکیل یک متغیر ترکیبی برای تحلیل چندمتغیره را فراهم می‌کند. آزمون لوین نیز نشان داد که

شکل ۲، الگوی فعالیت پایه مغز را در نواحی کلیدی مورد بررسی در گروه آزمایشی نمایش می‌دهد. پس از مداخله، نقشه‌های مغزی افزایش فعالیت در نواحی مرتبط با تنظیم شناختی و هیجانی را آشکار می‌سازند، به ویژه در مناطقی که تحت تأثیر مستقیم پروتکل tDCS قرار داشته‌اند. این تصاویر، اثرات موضعی تحریک را نمایان می‌کنند و نشان می‌دهند که توان مطلق امواج مغزی دستخوش تغییرات قابل توجهی شده‌اند. یافته‌های حاصل، هم‌راستا با این فرضیه هستند که tDCS موجب بهینه‌سازی تحریک‌پذیری قشری و افزایش اتصال عملکردی شده و در نتیجه، بهبود کارکرد شناختی و هیجانی را به دنبال داشته است.

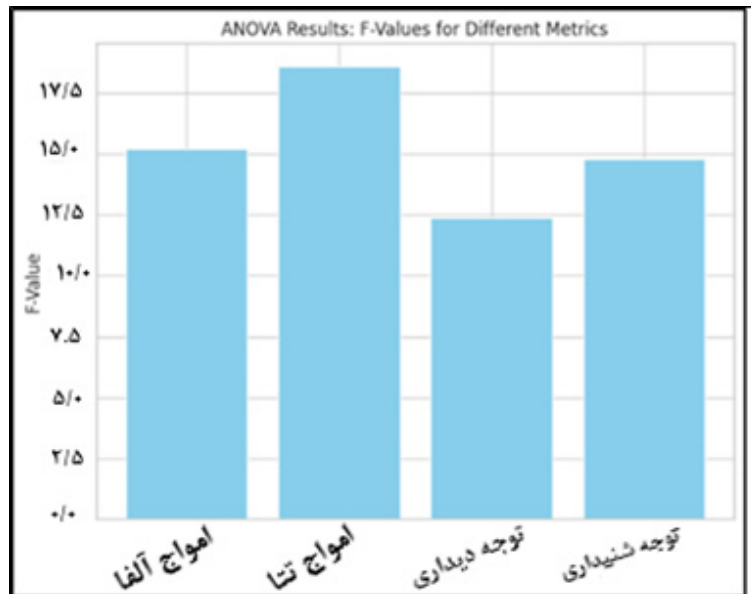
قابل توجهی نشان نداد، که بیانگر اثر اختصاصی مداخله tDCS در تعدیل فعالیت‌های عصبی و ارتقای کارکرد شناختی می‌باشد. در گروه آزمایشی، پس از اعمال مداخله، افزایش معناداری در توان مطلق امواج آلفا مشاهده شد که نشان‌دهنده کاهش اضطراب پس از مداخله است. همچنین، کاهش چشمگیر توان مطلق امواج تتا در این گروه حاکی از بهبود فرآیندهای توجهی و ارتقای کارکرد شناختی است. در مقابل، در گروه کنترل تغییرات قابل توجهی مشاهده نگردید، که این موضوع بیانگر اثربخشی اختصاصی تحریک tDCS در تعدیل نوسانات عصبی مرتبط با تنظیم اضطراب و تقویت عملکرد شناختی است.



شکل ۲. تغییرات توان مطلق امواج مغزی، الف) نقشه مغزی قبل از مداخله ب) نقشه مغزی بعد از مداخله

می‌دهد. مقدار F بالا و سطوح معناداری ($P < 0.05$). گویای آن است که مداخله tDCS تأثیر معناداری به ویژه در گروه آزمایشی داشته است.

شکل ۳ نیز تفاوت‌های آماری معنادار در متغیرهای کلیدی امواج مغزی شامل امواج آلفا، امواج تتا، توجه دیداری و توجه شنیداری را نشان



شکل ۳. مقادیر F حاصل از آزمون ANOVA در شاخص‌های مختلف

بحث

هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی اثربخشی تحریک الکتریکی جریان مستقیم فراجمجمه‌ای (tDCS) بر تعدیل توان مطلق امواج مغزی و بهبود عملکرد توجه دیداری و شنیداری در افراد مبتلا به اختلال اضطراب فراگیر (GAD) بود.

یافته‌های این پژوهش نشان داد که مداخله tDCS منجر به تغییرات معنادار در فعالیت الکتروفیزیولوژیک مغز و ارتقای مؤلفه‌های مختلف توجه می‌شود. به طور مشخص، افزایش معنادار توان مطلق امواج آلفا و کاهش امواج بتا پس از مداخله مشاهده شد؛ الگویی که به طور گسترده با کاهش سطح اضطراب، افزایش آرامش ذهنی و بهبود کارکردهای توجهی مرتبط دانسته می‌شود. این تغییرات هم‌زمان با بهبود چشمگیر عملکرد شرکت‌کنندگان در شاخص‌های توجه دیداری و شنیداری همراه بود و نشان می‌دهد که تعدیل فعالیت‌های عصبی می‌تواند به ارتقای کارکردهای شناختی در بیماران مبتلا به GAD منجر شود.

از دیدگاه نوروفیزیولوژیکی، امواج آلفا نقش مهمی در تنظیم هیجان، مهار شناختی و حفظ تمرکز ایفا می‌کنند، در حالی که افزایش فعالیت بتا در بزرگسالان اغلب با اضطراب، حواس‌پرتی و نقص در پردازش توجهی همراه است. بنابراین، افزایش امواج آلفا و کاهش امواج بتا مشاهده شده در این مطالعه می‌تواند بازتاب بهبود تعادل تحریک‌پذیری قشری و افزایش کارایی شبکه‌های توجهی باشد. این الگو از تغییرات عصبی، تبیین‌کننده بهبود هم‌زمان عملکرد توجه دیداری و شنیداری پس از مداخله tDCS است.

یافته‌های حاضر با نتایج مطالعات پیشین هم‌راستا است. Batista و همکاران نشان دادند که تحریک tDCS بر نواحی پیش‌پیشانی منجر به کاهش اضطراب و بهبود وضعیت هیجانی می‌شود (۱۹). همچنین، Zheng و همکاران (۲۰) و Liu و همکاران (۲۱) گزارش کردند که تحریک قشر پیش‌پیشانی با tDCS باعث کاهش علائم اضطرابی و بهبود کارکردهای شناختی، به ویژه توجه و کنترل شناختی، می‌شود. نتایج مطالعه حاضر این یافته‌ها را تأیید می‌کند و با تمرکز بر ناحیه اوربیتوفرونتال، شواهد جدیدی درباره نقش این ناحیه در تنظیم هم‌زمان فرآیندهای هیجانی و توجهی ارائه می‌دهد. برخلاف برخی مطالعات که تنها پیامدهای بالینی یا رفتاری را گزارش کرده‌اند، این پژوهش با استفاده هم‌زمان از شاخص‌های QEEG و آزمون‌های توجه، ارتباط مستقیم میان تغییرات امواج مغزی و بهبود کارکرد شناختی را نشان می‌دهد.

از دیدگاه بالینی، نتایج این مطالعه حاکی از آن است که tDCS می‌تواند به عنوان یک مداخله غیرتهاجمی، ایمن و مکمل در درمان اختلال اضطراب فراگیر مورد استفاده قرار گیرد. به ویژه در بیمارانی که پاسخ مناسبی به درمان‌های دارویی یا روان‌درمانی ندارند، استفاده از tDCS می‌تواند به بهبود عملکرد توجهی و کاهش علائم اضطرابی کمک کند. این یافته‌ها با تأکید بر رویکردهای نوین مبتنی بر تنظیم فعالیت مغزی، می‌توانند در طراحی پروتکل‌های درمانی چندوجهی برای اختلالات اضطرابی کاربرد داشته باشند. با وجود یافته‌های کاربردی، این مطالعه دارای محدودیت‌هایی است.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق در پژوهش

در اجرای پژوهش ملاحظات اخلاقی مطابق با دستورالعمل کمیته اخلاق دانشگاه تبریز در نظر گرفته شده است. اصول اخلاقی رعایت شده در مقاله شامل رضایت آگاهانه شرکت‌کنندگان، محرمانگی اطلاعات و اجازه انصراف شرکت‌کنندگان در تبریز بود. کد اخلاق به شماره IR.TABRIZU.REC.1402.131 دریافت شده است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول مقاله را نگارش کرده است و نویسنده دوم اصلاحات کلی را انجام داده است. نویسنده سوم تحلیل‌های آماری را بررسی و تأیید کرده‌اند. نویسنده چهارم، نویسنده مسئول دوم، ترجمه و ویرایش و بررسی نهایی مقاله را بر عهده داشته‌اند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مراتب سپاس و قدردانی خود را نسبت به مشارکت‌کنندگان که در این پژوهش شرکت کردند، ابراز می‌دارند.

منابع مالی

این مطالعه برگرفته از رساله نویسنده نخست در گروه علوم اعصاب شناختی، دانشکده علوم تربیتی و روان‌شناسی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران است. هیچ گونه حمایت مالی در خصوص این مطالعه صورت نگرفته است.

تعارض منافع

هیچ کدام از نویسندگان این مطالعه، افراد و یا دستگاه‌ها تعارض منافی برای انتشار این مقاله ندارند.

حجم نمونه نسبتاً کوچک، عدم بررسی اثرات بلندمدت مداخله و وجود برخی اختلالات همراه در نمونه پژوهش از جمله محدودیت‌های این پژوهش محسوب می‌شوند. پژوهش‌های آینده می‌توانند با افزایش حجم نمونه، اجرای پیگیری‌های طولانی‌مدت و بررسی اثر tDCS بر سایر کارکردهای اجرایی مانند حافظه کاری و تصمیم‌گیری، به تعمیم‌پذیری بیشتر نتایج کمک کنند. همچنین، بهره‌گیری از روش‌های تصویربرداری پیشرفته مانند fMRI یا EEG با تفکیک مکانی بالاتر می‌تواند درک دقیق‌تری از سازوکارهای عصبی زیربنایی اثرات tDCS فراهم آورد (۲۶، ۲۷). در مجموع، یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که تحریک الکتریکی جریان مستقیم فراجمجمه‌ای قادر است با تعدیل فعالیت امواج مغزی، به ویژه افزایش آلفا و کاهش تتا، عملکردهای توجه دیداری و شنیداری را در افراد مبتلا به اختلال اضطراب فراگیر بهبود بخشد. این نتایج پشتوانه تجربی معتبری برای کاربرد tDCS به عنوان یک رویکرد درمانی مکمل و غیرتهاجمی در مدیریت اختلالات اضطرابی فراهم می‌کند و می‌تواند مبنایی برای پژوهش‌های آینده و توسعه مداخلات مبتنی بر تنظیم فعالیت مغزی باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که tDCS به طور معناداری موجب بهبود توجه دیداری و شنیداری در این بیماران می‌شود. این یافته‌ها نشان‌دهنده این است که این روش می‌تواند در بهبود تمرکز، افزایش پردازش اطلاعات و کاهش اثرات اضطراب بر کارکردهای شناختی نقش مؤثری داشته باشد. یافته‌های این پژوهش حمایت بیشتری از tDCS به عنوان یک رویکرد درمانی مکمل در مدیریت اختلال اضطراب فراگیر فراهم می‌آورد. با این حال، پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آینده، اثرات طولانی‌مدت این مداخله همراه با ارزیابی سایر نشانگرهای زیستی و رفتاری مرتبط با اضطراب، به‌طور جامع‌تری بررسی شود.

References

1. Courtney AL, Meyer ML. Self-other representation in the social brain reflects social connection. *Journal of Neuroscience*. 2020;40(29):5616-5627.
2. Abernathy K, Chandler LJ, Woodward JJ. Alcohol and the prefrontal cortex. *International Review of Neurobiology*. 2010;91:289-320.
3. Denny BT, Kober H, Wager TD, Ochsner KN. A meta-analysis of functional neuroimaging studies of self and other judgments reveals a spatial gradient for mentalizing in medial prefrontal cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2012;24(8):1742-1752.
4. Breitenwischer D. The aesthetics of poetic self-representa-

- tion: Henry James's what maisie knew. In: Schweighauser P, Askin R editors. Literature, ethics, morality: American studies perspectives. Tübingen, Germany: Narr Francke Attempto Verlag; 2015. pp. 73-90.
5. Shiozawa P, Leiva APG, Castro CDC, da Silva ME, Cordeiro Q, Fregni F, et al. Transcranial direct current stimulation for generalized anxiety disorder: A case study. *Biological Psychiatry*. 2014;75(11):e17-e18.
 6. Badre D, Kayser AS, D'Esposito M. Frontal cortex and the discovery of abstract action rules. *Neuron*. 2010;66(2):315-326.
 7. Andrews SC, Hoy KE, Enticott PG, Daskalakis ZJ, Fitzgerald PB. Improving working memory: The effect of combining cognitive activity and anodal transcranial direct current stimulation to the left dorsolateral prefrontal cortex. *Brain Stimulation*. 2011;4(2):84-89.
 8. Kane MJ, Conway AR, Miura TK, Colflesh GJ. Working memory, attention control, and the N-back task: A question of construct validity. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. 2007;33(3):615-622.
 9. Alvarez JA, Emory E. Executive function and the frontal lobes: A meta-analytic review. *Neuropsychology Review*. 2006;16:17-42.
 10. Frings C, Brinkmann T, Friehs MA, van Lipzig T. Single session tDCS over the left DLPFC disrupts interference processing. *Brain and Cognition*. 2018;120:1-7.
 11. Wu Y, Tang L, Shi X, Zhou Z, Li Y, Shan C. Effects of tDCS on depression and comorbid generalized anxiety disorder: A brain function imaging case report. *Frontiers in Neurology*. 2022;13:879339.
 12. Qi L, Wang S, Li X, Yu Y, Wang W, Li Q, et al. Non-invasive brain stimulation in the treatment of generalized anxiety disorder: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Psychiatric Research*. 2024;178:378-387.
 13. Palmisano A, Bossi F, Barlaba C, Febbraio F, Loconte R, Lupo A, et al. Anodal tDCS effects over the left dorsolateral prefrontal cortex (L-DLPFC) on the rating of facial expression: Evidence for a gender-specific effect. *Heliyon*. 2021;7(11):e08267.
 14. Silani G, Lamm C, Ruff CC, Singer T. Right supramarginal gyrus is crucial to overcome emotional egocentricity bias in social judgments. *Journal of Neuroscience*. 2013;33(39):15466-15476.
 15. Abdiyan M, Ebrahimi Moghaddam H, Saberi H. Comparison of the effectiveness of transcranial direct current stimulation in the dorso-lateral prefrontal and temporal-parietal regions on theory of mind in children with attention deficit hyperactivity disorder. *Neuropsychology*. 1402;9(35):51-63. (Persian)
 16. Colzato LS, Zech H, Hommel B, Verdonschot R, Van den Wildenberg WP, Hsieh S. Loving-kindness brings loving-kindness: The impact of Buddhism on cognitive self-other integration. *Psychonomic Bulletin & Review*. 2012;19:541-545.
 17. Nobusako S, Nishi Y, Nishi Y, Shuto T, Asano D, Osumi M, et al. Transcranial direct current stimulation of the temporoparietal junction and inferior frontal cortex improves imitation-inhibition and perspective-taking with no effect on the autism-spectrum quotient score. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*. 2017;11:84.
 18. Liepelt R, Klempova B, Dolk T, Colzato LS, Ragert P, Nitsche MA, et al. The medial frontal cortex mediates self-other discrimination in the joint Simon task. 19th Meeting of the European Society for Cognitive Psychology (ESCCP); 2015 June 17-20; Paphos, Cyprus; 2015.
 19. Batista EK, Klauss J, Fregni F, Nitsche MA, Nakamura-Palacios EM. A randomized placebo-controlled trial of targeted prefrontal cortex modulation with bilateral tDCS in patients with crack-cocaine dependence. *International Journal of Neuropsychopharmacology*. 2015;18(12):pyv066.
 20. Zheng EZ, Wong NM, Yang AS, Lee TM. Evaluating the effects of tDCS on depressive and anxiety symptoms from a transdiagnostic perspective: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Translational Psychiatry*. 2024;14(1):295.
 21. Liu A, Bryant A, Jefferson A, Friedman D, Minhas P, Bar-

- nard S, et al. Exploring the efficacy of a 5-day course of transcranial direct current stimulation (TDCS) on depression and memory function in patients with well-controlled temporal lobe epilepsy. *Epilepsy & Behavior*. 2016;55:11-20.
22. Xie L, Hu P, Guo Z, Chen M, Wang X, Du X, et al. Immediate and long-term efficacy of transcranial direct current stimulation (tDCS) in obsessive-compulsive disorder, posttraumatic stress disorder and anxiety disorders: A systematic review and meta-analysis. *Translational Psychiatry*. 2024;14(1):343.
23. Moslemi B, Azmodeh M, Tabatabaei SM, Alivandi Vafa M. The effectiveness of transcranial direct current stimulation (tDCS) on attention and visual-auditory working memory in children with dyslexia. *Journal of Exceptional Children*. 2021;20(4):93-104. (Persian)
24. Abdi F, Mehdizadeh Fanid L, Masumi J, Jafari Asl M. Bilingualism and cognitive abilities: A comparison of working memory and cognitive flexibility in Persian-Turkish bilingual and monolingual adults. *The Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2025;14(5):824-837. (Persian)
25. Gholipour Fallahy MR, Mehdizadeh Fanid L, Vahedy S, Jafari Asl M. The effects of transcranial direct current stimulation on anxiety and neural oscillations in generalized anxiety disorder: A clinical investigation. *Basic and Clinical Neuroscience*. 2026;17(1):159-163.
26. Gholipour Fallahy M, Mehdizadeh Fanid L, Vahedy S, Bakht Shady F, Jafari Asl M. Efficacy of tDCS in modulating the alpha and theta power and improving visual and auditory attention in people with generalized anxiety disorder. *The Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2025;14(4):560-577. (Persian)
27. Mousavi M, Mehdizadeh Fanid L, Zaker M, Jafari Asl M. Speech graph analysis of verbal fluency in children with autism spectrum disorders. *Journal of Pediatric Perspectives*. 2025;13(6):19487-19507.