

The Effectiveness of High-Definition Transcranial Direct Current Stimulation (HD-tDCS) over the Dorsolateral Prefrontal Cortex (DLPFC) in Improving Induced Emotion Dysregulation and Information Processing Speed

AmirHossein AmelRahbardar¹, Boshra Hatef¹, Ali Motie Nasrabadi², Gholam Hossein Meftahi¹, Alireza Mohammadi^{1*}

¹ Neuroscience Research Center, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran

² Department of Medical Engineering, Shahed University, Tehran, Iran

Received: 20 May 2024 Accepted: 9 June 2024

Abstract

Background and Aim: Emotion regulation is an important and determining factor in psychological well-being and effective behavior of people, which plays an essential role in adapting to stressful life events. People who experience emotion dysregulation may show symptoms such as impulsive behaviors, severe anxiety, aggression, and problems with metacognition. This study aims to investigate the effectiveness of high-definition transcranial direct current stimulation (HD-tDCS) in the dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC) of the brain in improving emotion dysregulation and the speed of brain information processing.

Methods: This study is pre-post-test research. In this study, 20 healthy participants (male, right-handed) were used. The participants were randomly assigned to two anodal stimulation groups and sham (control) groups. By completing the ERQ and DTS questionnaires, as well as performing the Paced Auditory Serial Addition Test (PASAT) before and after electrical stimulation of the brain by the HD-tDCS method in the L-DLPFC area, this study was followed up and carried out.

Results: After the intervention (stimulation) in the pre-post test comparison between the stimulation group and the control group, there was a difference in terms of evaluation variables, suppression, being absorbed by negative emotions, regulating efforts to relieve distress, the number of correct answers in the PASAT test and the time to answer the PASAT test. There was significance ($P < 0.05$). This shows the effectiveness of the intervention (anodal stimulation) on these components between the stimulation and control groups. However, there was no significant difference between the stimulation and control groups in terms of emotional distress tolerance, subjective estimation of distress, and the number of incorrect answers in the PASAT test ($P > 0.05$). Also, in the comparison of the pre-post test, time was not recognized as a significant factor in any of the research components.

Conclusion: High-definition transcranial direct current stimulation (HD-tDCS) in the left dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC) improves some components of emotion dysregulation and also improves brain information processing speed.

Keywords: Emotion, Dysregulation, Transcranial Direct Current Stimulation, Data Processing, Dorsolateral Prefrontal Cortex.

اثر بخشی تحریک الکتریکی فراججمه‌ای با چگالی بالا (HD-tDCS) بر روی قشر پیش پیشانی خلفی-جانبی (DLPFC) در بهبود بدتنظیمی هیجانی القایی و سرعت پردازش اطلاعات

امیرحسین عامل رهباردار^۱، بشری هاتف^۱، علی مطیع نصرآبادی^۲، غلامحسین مفتاحی^۱، علیرضا محمدی^{۱*}

^۱ مرکز تحقیقات علوم اعصاب، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج)، تهران، ایران

^۲ گروه مهندسی پزشکی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

چکیده

زمینه و هدف: تنظیم هیجان عاملی مهم و تعیین کننده در بهزیستی روانی و عملکرد اثربخش افراد است، که نقش اساسی در سازگاری با رویدادهای استرس‌زای زندگی ایفا می‌کند. افرادی که اختلال در تنظیم هیجانی را تجربه می‌کنند ممکن است علائمی مانند رفتارهای تکانشی، اضطراب شدید، پرخاشگری و مشکلات در فراشناخت را نشان دهند. هدف این مطالعه بررسی اثربخشی تحریک الکتریکی فراججمه‌ای با چگالی بالا (HD-tDCS) در قشر پیش پیشانی خلفی-جانبی (DLPFC) مغز بر بهبود بدتنظیمی هیجانی و همچنین سرعت پردازش اطلاعات مغزی افراد می‌باشد.

روش‌ها: این مطالعه یک تحقیق پیش‌آزمون-پس‌آزمون است. در این مطالعه از ۲۰ شرکت‌کننده سالم (جنسیت مرد، راست دست) استفاده شد. شرکت‌کنندگان به طور تصادفی در دو گروه تحریک آندال و گروه شم (کنترل) قرار گرفتند. با کامل کردن پرسشنامه‌های ERQ و DTS و همچنین انجام آزمون PASAT پیش و پس از تحریک الکتریکی مغز به روش HD-tDCS در ناحیه L-DLPFC، این مطالعه مورد پیگیری و انجام قرار گرفت.

یافته‌ها: پس از مداخله (تحریک) در مقایسه پیش و پس‌آزمون بین گروه تحریک و گروه کنترل از لحاظ متغیر ارزیابی، سرکوبی، جذب شدن به وسیله هیجان‌ات منفی، تنظیم تلاش‌ها برای تسکین پریشانی، تعداد پاسخ درست آزمون پاسات و زمان پاسخ آزمون پاسات تفاوت معنی‌داری وجود داشت ($P < 0.05$). این موضوع نشان‌دهنده اثربخشی مداخله (تحریک آندال) بر این مولفه‌ها بین گروه تحریک و کنترل می‌باشد. اما بین گروه تحریک و گروه کنترل از لحاظ متغیر تحمل پریشانی هیجانی، برآورد ذهنی پریشانی و تعداد پاسخ نادرست آزمون پاسات تفاوت معنی‌داری وجود نداشت ($P > 0.05$). همچنین در مقایسه پیش و پس‌آزمون در هیچ کدام از مولفه‌های پژوهش، زمان به عنوان فاکتور معنی‌داری شناخته نشد.

نتیجه‌گیری: تحریک الکتریکی فراججمه‌ای با چگالی بالا (HD-tDCS) در قشر پیش پیشانی خلفی-جانبی (DLPFC) سمت چپ باعث بهبود برخی از مولفه‌های بدتنظیمی هیجانی شده و همچنین میزان سرعت پردازش اطلاعات مغز را نیز بهبود می‌بخشد.

کلیدواژه‌ها: هیجان، بدتنظیمی، تحریک الکتریکی فراججمه‌ای، پردازش اطلاعات، قشر پیش پیشانی خلفی-جانبی.

مقدمه

بی‌نظمی هیجانی، وضعیتی که با ناتوانی در تنظیم و مدیریت مؤثر احساسات مشخص می‌شود، می‌تواند تأثیر عمیقی بر هیجان‌ها فرد داشته باشد (۱). همچنین تنظیم هیجان، به توانایی فهم هیجان‌ها، تعدیل تجربه هیجانی و ابراز هیجان‌ها اشاره دارد و مکانیسمی است که افراد به واسطه آن (آگاهانه یا غیرآگاهانه) هیجان‌ها را برای رسیدن به پیامد موردنظر تغییر می‌دهند (۲). تنظیم هیجان همچنین نقشی اصلی در تحول به هنجار داشته و ضعف در آن، عاملی مهم در ایجاد آسیب‌های روانی به شمار می‌رود (۳). به همین دلیل متخصصان معتقدند افرادی که قادر به مدیریت صحیح هیجان‌ها در برابر وقایع زندگی نیستند، بیشتر از سایرین دچار آسیب‌های روانی می‌گردند (۴). بنابراین می‌توان گفت، تنظیم هیجان عاملی مهم و تعیین‌کننده در بهزیستی روانی و عملکرد اثربخش می‌باشد، که نقش اساسی در سازگاری با رویدادهای استرس‌زای زندگی ایفا می‌کند (۵). مفهوم دیگری که در بحث تنظیم هیجان حائز اهمیت می‌باشد مفهوم خودتنظیمی هیجانی می‌باشد. خودتنظیمی هیجانی شامل راهبردهایی برای مدیریت هیجان‌ها، بیان و تجربه آن‌ها به روشی است که از نظر اجتماعی قابل تحمل و به اندازه کافی انعطاف‌پذیر باشد (۶). در طرف مقابل مفهوم بدتنظیمی هیجانی مطرح می‌شود. بدتنظیمی هیجانی به صورت از دست دادن کنترل لازم و کافی جهت کنترل هیجان‌ها است که یک آشوبی در آن‌ها به وجود آمده است و فرد پس از آن آشفتگی قادر به کنترل هیجان‌ها خود نمی‌باشد. افرادی که اختلال در تنظیم هیجانی را تجربه می‌کنند ممکن است علائمی مانند رفتارهای تکانشی، اضطراب شدید، پرخاشگری و مشکلات در فرآیند نشان دهند. هدف مداخلات درمانی کمک به افراد برای ابراز، مواجهه و تنظیم مؤثر احساسات و هدایت آن‌ها به سمت اقدامات سالم است (۷).

از آنجایی که نقش تنظیم هیجان در کارکردهای شناختی بسیار مهم می‌باشد درک و فهم عوامل مؤثر و تعدیل‌کننده آن می‌تواند ما را به درک درستی از این مفهوم برساند. اگر بخواهیم این مفهوم را در سطح مغز مورد بررسی و تحلیل قرار دهیم، با توجه به اینکه قشر پیش‌پیشانی جانبی متشکل از بخش‌های پشتی، جانبی و شکمی-جانبی نقش اساسی در تنظیم شناختی هیجان دارد، مطالعه روی این ناحیه می‌تواند درک خوبی از تنظیم هیجان در افراد بدهد. یکی از نواحی مهمی که در بحث تنظیم هیجان نقش اساسی ایفا می‌کند ناحیه‌ای از لوب‌های پیشانی و به طور دقیق‌تر قشر پیش‌پیشانی خلفی جانبی (DLPFC) است که معمولاً با کنترل عملکردهای اجرایی از جمله حافظه کاری و توجه انتخابی در ارتباط است. تاکنون مطالعات زیادی بر روی ناحیه DLPFC و نقش آن بر کنترل عملکردهای عالی مغز صورت گرفته است (۸).

در مطالعه مفهوم تنظیم هیجان و روش‌های بهبود آن می‌توان به نقش اساسی تحریک مغزی به خصوص در لوب پیشانی اشاره

کرد. روش‌های تحریک مغزی شامل روش‌های تحریک تهاجمی و غیر تهاجمی می‌باشد که هدف ما بررسی و انجام تحریک غیر تهاجمی و مطالعه روی اثر آن بر بدتنظیمی هیجانی می‌باشد.

رایج‌ترین روش‌های تحریک غیرتهاجمی مغز شامل تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای (tDCS) و تحریک مغناطیسی مغز (TMS) می‌باشد. در تحریک مغناطیسی مغز از یک سیم پیچ برای تولید یک میدان مغناطیسی استفاده می‌شود که در جمجمه نفوذ می‌کند و جریان الکتریکی را القا می‌کند درحالی‌که در تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای یک جریان مستقیم با شدت ضعیف از طریق دو الکترود سطحی آند و کاتد ارائه می‌شود (۹).

اگرچه هر دو شیوه دارای عوارض جانبی خاص خود می‌باشند اما تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای در مقایسه با تحریک مغناطیسی مغز چندین امتیاز دارد که شامل ارزان بودن، قابل حمل بودن و استفاده در مکان‌های مختلف، ایمنی مطلوب و امکان استفاده به صورت دو طرفه می‌باشد (۱۰).

tDCS یک روش درمانی عصبی است که در آن برای تسهیل و یا بازداری، خودانگیخته عصبی، یک جریان مستقیم و ضعیف به مناطق قشری وارد می‌شود (۱۱). به عبارت دیگر، در این نوع تحریک الکتریکی نقاطی از سر با استفاده از جریان‌های ضعیف الکتریکی هدف قرار می‌گیرند و باعث فعال‌سازی یا غیرفعال‌سازی نقطه مورد نظر می‌شوند (۱۲). جریان مستقیم از طریق اتصال دو الکترود آند و کاتد باعث تحریک و بازداری نورون‌های زیرین می‌شود. نتایج تحقیقات نشان داده است که تحریک کاتدی باعث کاهش تحریک‌پذیری مغز و تحریک آندی باعث افزایش تحریک‌پذیری مغز می‌شود (۱۳). با توجه به اهمیت مطالعه روی مفاهیم بیان شده، که در تبیین تنظیم هیجان مؤثر می‌باشند لذا تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز در ناحیه لوب پیشانی می‌تواند به درک بهتر این مفهوم کمک کند.

در مطالعات گذشته گزارش شده است که یک جلسه تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز با هدف قرار دادن، ناحیه خلفی-جانبی قشر پیش‌پیشانی سمت چپ باعث بهبود حافظه، توانایی برنامه‌ریزی، کنترل مهارتی و کارایی عصبی در طی پردازش‌های شناختی با حداقل عوارض جانبی می‌شود (۱۴). همچنین نشان داده شده است که تحریک فراجمجمه‌ای مغز اثرات مفیدی بر بسیاری از اختلالات عصب روان‌شناختی همچون سکت، صرع، افسردگی مزمن و ولع مصرف مواد دارد (۱۵، ۱۶). پژوهش‌های Chrysikou و همکاران (۱۷) و Salvi و همکاران (۱۸) و Cosmo و همکاران (۱۹) نشان داد که تحریک فراجمجمه‌ای مغز تأثیر معنی‌داری بر افزایش تحریک‌پذیری مناطق مرتبط با تنظیم هیجانی و توجه قشر پیش‌پیشانی و بهبود فرآیندهای تنظیم هیجانی، توجه، بازداری کنترل و حافظه کاری دارد و همچنین به طور قابل توجهی می‌تواند عملکرد حل مسئله را بهبود بخشد.

یکی از نقطه ضعف‌های تحریک به روش tDCS، انتشار

به ارتباط عملکردی آناتومیکی یا چرخه لیمبیک شکمی می‌باشد (۲۷). با توجه به مهم بودن قشر پیش پیشانی خلفی-جانبی (DLPFC) در تنظیم هیجان انتظار می‌رود تحریک این نقطه باعث بهبود بدتنظیمی هیجانی گردد (۲۸).

با بررسی مطالعات گذشته، دریافتیم که مطالعات زیادی در حوزه تحریک مغزی و نقش آن در بدتنظیمی هیجانی وجود نداشته است و این پژوهش اولین مطالعه است که در آن اثرات HD-tDCS در طول آزمون‌های مبتنی بر بدتنظیمی هیجانی در روی قشر پیش پیشانی خلفی جانبی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

همچنین با توجه به مطالعات اندک در زمینه بررسی هیجانات و بخصوص بدتنظیمی هیجانی که یکی از مهم‌ترین فاکتورهای کنترلی در برخی از بیماری‌ها و نیز از دست دادن کنترل طبیعی هیجانات، در افراد سالم می‌باشد. لذا در پژوهش حاضر بر آن هستیم اثرات HD-tDCS را بر بدتنظیمی هیجانی و از دست دادن کنترل هیجانات طبیعی از طریق اندازه‌گیری سنجه‌های الکتروفیزیولوژیک که شامل پرسشنامه تحمل پریشانی سیمونز و گاهر (DTS) و پرسشنامه راهبردهای تنظیم هیجان گراس (ERQ) می‌باشد مورد بررسی و تحقیق قرار دهیم. همچنین برای بررسی قدرت، سرعت و الگوی پردازش اطلاعات از آزمون PASAT (Paced Auditory Serial Addition Test) استفاده خواهد شد. شایان ذکر است PASAT مولفه‌های دیگری از جمله قدرت تصمیم‌گیری، میزان تأخیر در پاسخگویی به سوالات و هوش هیجانی را نیز خواهد سنجید که به اطلاعات ما جهت بررسی این مطالعه کمک خواهد کرد.

با توجه به اینکه سرعت و دقت پردازش اطلاعات و بدتنظیمی هیجانی در ناحیه DLPFC و نیز ترکیب آن با مولفه‌های الکتروفیزیولوژیک در مطالعات پیشین به طور همزمان مورد بررسی و مطالعه قرار نگرفته است، لذا اهمیت و ضرورت انجام این پژوهش را دوچندان می‌کند و انتظار می‌رود بررسی همزمان این موضوعات بتواند کمک قابل توجهی به درک این مفاهیم جهت شناسایی، کنترل و درمان بدتنظیمی هیجانی در افراد سالم و بیمار منجر شود.

روش‌ها

در این مطالعه از ۲۰ شرکت‌کننده سالم (جنسیت مرد، راست دست) استفاده شد. بازه سنی مورد مطالعه در شرکت‌کنندگان بین ۱۹ تا ۲۹ سال و با میانگین و انحراف معیار ۲۳/۷ و ۲/۹۷ بود. شرکت‌کنندگان به طور تصادفی در دو گروه تحریک آندال و گروه شم (کنترل) قرار گرفتند (۱۰ نفر گروه تحریک آندال و ۱۰ نفر گروه شم). لازم به ذکر است که روش تصادفی سازی در این مطالعه با توجه به یکسان بودن تعداد نفرات در گروه‌ها، روش تصادفی سازی بلوکی می‌باشد.

بینایی و شنوایی در همه شرکت‌کنندگان نرمال گزارش شده بود. هیچ یک از آن‌ها سابقه اختلالات عصبی یا روان‌پزشکی یا

گسترده میدان الکتریکی می‌باشد. به جهت رفع این نقطه ضعف روش جدیدی ارائه شده است. تحریک الکتریکی فرامجمه‌ای مغز با چگالی بالا (HD-tDCS) شکل جدیدی از تحریک مغزی است که هدف آن غلبه بر انتشار گسترده میدان الکتریکی می‌باشد.

High Definition Transcranial Direct-Current Stimulation (HD-tDCS) است که یک تکنیک تحریک مغزی غیرتهاجمی است. این تکنیک از آرایه‌هایی از الکترودهای کوچک‌تر برای افزایش دقت انتقال جریان به نواحی خاص مغز استفاده می‌کند که منجر به بهبود کانونی در مقایسه با tDCS معمولی می‌شود (۲۰).

در مقایسه دو تکنیک تحریک مغزی، برخی از مطالعات اثرات HD-tDCS و tDCS معمولی را بر روی نرخ پاسخ مقایسه کرده‌اند و دریافت‌اند که همه tDCS به HD-tDCS نیز پاسخ می‌دهند، اما نه برعکس، این نشان می‌دهد که HD-tDCS حداقل به اندازه tDCS معمولی موثر است (۲۱). مطالعات دیگر تحمل‌پذیری HD-tDCS را بررسی کرده‌اند و دریافتند که برای دامنه‌های کل تا ۱۰ میلی‌آمپر در افراد مسن‌تر با تفاوت محسوس کمی در تجربه گزارش شده نسبت به گروه شم (کنترل) به خوبی تحمل می‌شود (۲۲). یک مطالعه آزمایشی اثر تحریک را بین HD-tDCS و tDCS مبتنی بر شبکه (NB-tDCS) روی یک فرد سالم مقایسه کرد و نشان داد که NB-tDCS مناطق مرتبط با حرکت بیشتری را تحریک می‌کند و در مقایسه با HD-tDCS اثر ماندگاری طولانی تری دارد (۲۳). همچنین در مورد HD-tDCS آندال برای تقویت حافظه کاری و تعدیل‌کننده‌ها وجود دارد که اثرات بهتر آن را در مقایسه با tDCS معمولی ثابت شده است (۲۴).

همچنین در تحقیقات نشان داده شده است که HD-tDCS باعث کاهش توان آلفا در شرکت‌کنندگان با آلفای پایین‌تر می‌شود، در حالی که tDCS معمولی باعث کاهش توان بتا در شرکت‌کنندگان با بتا بالاتر در ابتدا می‌شود. همچنین HD-tDCS تأثیر رفتاری مثبتی بر مهارت در شرکت‌کنندگان با بتا کمتر در ابتدا دارد (۲۵). Kuo و همکارانش در سال ۲۰۱۳ نشان دادند که HD-tDCS القای نوروپلاستیسیته را در زمان ۳۰ دقیقه بعد از تحریک به اوج خود می‌رساند که این میزان از tDCS بیشتر است. همچنین مدت زمان ماندگاری تحریک‌پذیری توسط HD-tDCS حدود ۳۰ دقیقه بیشتر از tDCS است (۲۶).

با توجه به درک دو مفهوم تحریک الکتریکی مغزی و ناحیه پیشانی در بحث تنظیم هیجان در مغز، لذا مطالعه همزمان روی این دو مفهوم می‌تواند کمک شایانی به درک تنظیم هیجان در مغز کند. در اکثر مطالعات نقطه کراتکس پره فرونتال قشر پیش پیشانی (نقطه درگیر در کنترل شناختی مغز) به عنوان نقطه مهم تحریک معرفی شده است. این مکان بخشی از مدار فرونتواستریال شناختی جانبی می‌باشد که ساختار اصلی عصبی درگیر در عملکردهای اجرایی از قبیل کنترل خودتنظیمی و سیستم پردازش پاداش مربوط

آسیب به سر نداشتند و هیچ شرکت کننده‌ای از داروهای اعصاب، خواب‌آور و یا ضد تشنج که می‌توانست بر فعالیت عصبی تأثیر بگذارد، استفاده نمی‌کرد.

ابزار پژوهش

پرسشنامه تحمل پریشانی سیمونز و گاهر (DTS):

پرسشنامه تحمل پریشانی سیمونز و گاهر (DTS) یک شاخص خودسنجی تحمل پریشانی هیجانی است که توسط سیمونز و گاهر در سال ۲۰۰۵ ساخته شد. این مقیاس دارای ۱۵ ماده و چهار خرده مقیاس به نام‌های تحمل پریشانی هیجانی، جذب شدن به وسیله هیجانان منفی، برآورد ذهنی پریشانی، و تنظیم تلاش‌ها برای تسکین پریشانی است.

مقیاس تحمل پریشانی به طور خاص با هدف اندازه‌گیری ظرفیت درک شده برای تحمل پریشانی از یک چارچوب چندبعدی است. تحمل (توانایی درک شده فرد برای کنترل احساسات قوی)؛ جذب (میزانی که یک فرد بر این باور است که تحت تأثیر احساسات شدیدی است که تجربه می‌کند)؛ ارزیابی (توانایی درک شده فرد برای پذیرش احساسات قوی خود) و تنظیم (میزانی که یک فرد از راهبردها برای مدیریت آشکار احساسات قوی خود استفاده می‌کند). آیت‌ها بر اساس مقیاس لیکرت ۵ درجه‌ای (۵ کاملاً مخالف تا ۱ = کاملاً موافق)، با نمرات بالاتر مربوط به سطوح بالاتر تحمل پریشانی می‌باشد (۲۹).

پرسشنامه راهبردهای تنظیم هیجان گراس (ERQ):

پرسشنامه تنظیم هیجان به منظور اندازه‌گیری راهبردهای تنظیم هیجان توسط گراس و جان تدوین شده است. این پرسشنامه دو راهبرد تنظیم هیجانی را اندازه‌گیری می‌کند: ارزیابی مجدد شناختی (CR)، که قبل از ایجاد پاسخ هیجانی به طور کامل رخ می‌دهد و به تفسیر مجدد موقعیت هیجانی برانگیخته اشاره دارد، و سرکوب هیجان (ES)، که به تنظیم پاسخ هیجانی از قبل شکل گرفته اشاره دارد. این پرسشنامه مشتمل بر دو خرده مقیاس ارزیابی مجدد با ۶ گویه و سرکوبی با ۴ گویه می‌باشد. شرکت کنندگان در یک مقیاس لیکرت ۷ درجه‌ای از به شدت مخالفم (با نمره ۱) تا به شدت موافقم (با نمره ۷) پاسخ می‌دهند. در پژوهش گراس و جان همبستگی درونی برای ارزیابی مجدد ۷۹٪ و سرکوبی ۷۳٪ به دست آمده است (۳۰).

آزمون پاسات (Paced Auditory Serial Addition Test):

آزمون جمع‌بندی متوالی شنیداری با زمان‌بندی مشخص (PASAT) یک آزمون عصب روان‌شناختی است که به طور معمول برای ارزیابی میزان پردازش اطلاعات و توجه مداوم و تقسیم شده به کار می‌رود. در این تسک به آزمودنی‌ها هر ۲، ۳ و یا ۴ ثانیه یک عدد به صورت شنیداری ارائه می‌شود و از آن‌ها خواسته می‌شود تا عددی را که اکنون شنیده‌اند با عددی که قبلاً شنیده‌اند جمع کنند و با صدای بلند بیان دارند. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که این تسک علاوه بر چالش برانگیز بودن، باعث استرس

و بدتنظیمی هیجانی نیز می‌شود (۳۱).

تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای با چگالی بالا (HD-tDCS)

در این پژوهش جهت تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای با چگالی بالا از دستگاه HD-tDCS شرکت لیو فناوری هوشمند استفاده شد. در این دستگاه از یک الکترود آند و چهار الکترود کاتد استفاده گردید. الکترودها از طریق کلاه مخصوص بر روی سر فرد قرار گرفتند. الکترود آند روی کانال F۲ و چهار الکترود کاتد در اطراف آن یعنی در کانال‌های AF۳، FC۱، FC۵ و F۷ قرار گرفتند. در واقع منطقه تحت پوشش همان ناحیه DLPFC سمت چپ می‌باشد. شدت جریان خروجی در حالت اکتیو (تحریک آندال) ۲ میلی‌آمپر و به صورت جریان مستقیم (DC) بود و مدت زمانی که فرد تحریک مغزی دریافت می‌کند نیز ۲۰ دقیقه بود. در حالت شم نیز شرکت کنندگان فقط ۳۰ ثانیه ابتدایی جریان الکتریکی دریافت کردند این زمان ۳۰ ثانیه‌ای به منظور بی‌خبری شرکت‌کننده از برقراری یا عدم برقراری جریان الکتریکی بوده است.

پروتکل انجام تسک‌ها

این مطالعه یک طرح پیش‌آزمون - پس‌آزمون است. لذا در ابتدا شرکت‌کنندگان یک بار پرسشنامه‌های ERQ و DTS را مطالعه و پر نمودند. به فاصله یک روز بعد از پر کردن پرسشنامه‌ها، این افراد در آزمون پاسات شرکت کرده و بعد تحت انجام تحریک الکتریکی مغزی با تکنیک HD-tDCS در ناحیه قشر پیش پیشانی خلفی جانبی سمت چپ (L-DLPFC) قرار گرفتند. سپس بعد از گذشت ۳۰ دقیقه دوباره آزمون پاسات و بعد پرسشنامه‌ها را انجام دادند.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در این مطالعه جهت انجام تحلیل‌های آماری از نرم افزار SPSS استفاده شد. در ابتدا مولفه‌ها (متغیرها) پژوهش در این نرم افزار ایجاد و داده‌های مربوطه در هر بخش بارگزاری گردید. سپس توسط نرم افزار در ابتدا میانگین و انحراف معیار هر کدام از متغیرهای پژوهش مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. به جهت بررسی همگن بودن واریانس‌های متغیرها از آزمون لوین استفاده شد تا فرض همگن بودن واریانس‌ها مورد بررسی قرار بگیرد. در انتها نیز با استفاده از تحلیل کواریانس تک متغیره هر کدام از متغیرهای پژوهش مورد بررسی و تحلیل قرار گرفتند تا معنی‌دار بودن یا نبودن آن‌ها بررسی شود.

ملاحظات اخلاقی

تمام مراحل این مطالعه در دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج) انجام گرفت و با کد اخلاق IR.BMSU.BAQ.REC.1402.019 ثبت گردید. لازم به ذکر است که همه شرکت‌کنندگان قبل از آزمایش فرم رضایت آگاهانه را مطالعه و پر نمودند.

نتایج

جدول ۱ میانگین و انحراف معیار نمرات پیش‌آزمون و پس‌آزمون

جدول ۱- میانگین و انحراف معیار نمرات پیش‌آزمون و پس‌آزمون مربوط به متغیرهای پژوهش در دو گروه کنترل و تحریک

متغیر	گروه	پیش‌آزمون		پس‌آزمون	
		میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد
ارزیابی مجدد	کنترل	۲۴/۳	۴/۵۷	۲۴/۴	۴/۱۱
	تحریک	۲۶/۲	۵/۱۵	۲۹/۱	۳/۲۱
سرکوبی	کنترل	۱۳/۱	۲/۳۳	۱۴	۳/۰۵
	تحریک	۱۳/۶	۱/۸۳	۱۴/۷	۲/۱۱
تحمل پریشانی هیجانی	کنترل	۱۰/۲	۱/۸۷	۱۰/۷	۱/۸۸
	تحریک	۱۱/۹	۲/۲۸	۱۲/۱	۱/۷۷
جذب شدن به وسیله هیجان‌ات منفی	کنترل	۱۴/۷	۴/۶۶	۱۴	۴/۷۳
	تحریک	۱۴/۱	۵/۴۴	۱۲/۵	۲/۱۷
برآورد ذهنی پریشانی	کنترل	۲۶	۳/۸۵	۲۶/۲	۳/۲۹
	تحریک	۲۴/۷	۶/۶۰	۲۵/۳	۶/۶۳
تنظیم تلاش‌ها برای تسکین پریشانی	کنترل	۹/۵	۱/۶۴	۱۰	۱/۶۹
	تحریک	۹/۱	۲/۶۰	۱۰	۲/۸۶
تعداد پاسخ درست (آزمون PASAT)	کنترل	۲۷/۹	۱/۷۲	۲۸/۳	۱/۱۵
	تحریک	۲۸	۱/۵۶	۲۹/۲	۰/۶۳
تعداد پاسخ نادرست (آزمون PASAT)	کنترل	۲/۱	۱/۷۲	۱/۶	۱/۰۷
	تحریک	۲	۱/۵۶	۰/۹	۰/۵۶
زمان پاسخ (آزمون PASAT)	کنترل	۱/۴	۰/۳۷	۱/۴	۰/۳۸
	تحریک	۱/۵	۰/۳۷	۱/۲	۰/۳۳

مربوط به متغیرهای پژوهش را در دو گروه شم و تحریک نشان می‌دهد. با توجه به داده‌های جدول ۱ همانطور که مشاهده می‌شود میانگین مولفه‌های تنظیم هیجان و سرعت پردازش در مرحله پس‌آزمون نسبت به مرحله پیش‌آزمون در گروه تحریک تغییر کرده است. این در حالی است که این مولفه‌ها در گروه کنترل تغییر چندانی نکرده‌اند.

همانطور که در جدول ۱ نشان داده شده است میانگین نمره شرکت‌کنندگان در متغیر ارزیابی مجدد، سرکوبی، تحمل پریشانی هیجانی، جذب شدن به وسیله هیجان‌ات منفی، برآورد ذهنی پریشانی، تنظیم تلاش‌ها برای تسکین پریشانی، تعداد پاسخ درست آزمون پاسات، تعداد پاسخ نادرست آزمون پاسات و زمان پاسخ آزمون پاسات به ترتیب در گروه کنترل در مرحله پس‌آزمون ۲۹/۱، ۱۴/۷، ۱۲/۱، ۱۲/۵، ۲۵/۳، ۱۰، ۲۹/۲، ۰/۹، ۱/۲ بود.

قبل از تحلیل داده‌ها برای اطمینان از اینکه داده‌های این پژوهش، مفروضه‌های زیربنایی تحلیل کوواریانس را برآورده می‌کنند، به بررسی آن‌ها پرداخته شد. آزمون نرمال بودن توزیع‌های پژوهش (شاپیرو-ویلک) و آزمون همگنی واریانس‌ها برای متغیرهای پژوهش انجام شد.

نتیجه تحلیل آزمون نرمال بودن توزیع داده‌های پژوهش (شاپیرو-ویلک) برای متغیرهای پژوهش معنی‌دار نبود ($P > 0.05$). در نتیجه می‌توان چنین استنباط کرد که توزیع داده‌های پژوهش نرمال بوده است. همچنین نتایج آزمون لوین جهت بررسی همگنی واریانس‌ها برای متغیرهای پژوهش در جدول ۲ آورده شده است. با توجه به اطلاعات جدول ۲ مشخص شد که میزان همگنی واریانس برای متغیرهای ارزیابی مجدد ($F = 0.46$ ، $P = 0.50$)، سرکوبی ($F = 0.51$ ، $P = 0.81$)، تحمل پریشانی هیجانی ($F = 0.29$ ، $P = 0.59$)، جذب شدن به وسیله هیجان‌ات منفی ($F = 0.12$ ، $P = 0.72$)، برآورد ذهنی پریشانی ($F = 3.92$)،

مربوط به متغیرهای پژوهش را در دو گروه شم و تحریک نشان می‌دهد. با توجه به داده‌های جدول ۱ همانطور که مشاهده می‌شود میانگین مولفه‌های تنظیم هیجان و سرعت پردازش در مرحله پس‌آزمون نسبت به مرحله پیش‌آزمون در گروه تحریک تغییر کرده است. این در حالی است که این مولفه‌ها در گروه کنترل تغییر چندانی نکرده‌اند.

همانطور که در جدول ۱ نشان داده شده است میانگین نمره شرکت‌کنندگان در متغیر ارزیابی مجدد، سرکوبی، تحمل پریشانی هیجانی، جذب شدن به وسیله هیجان‌ات منفی، برآورد ذهنی پریشانی، تنظیم تلاش‌ها برای تسکین پریشانی، تعداد پاسخ درست آزمون پاسات، تعداد پاسخ نادرست آزمون پاسات و زمان پاسخ آزمون پاسات به ترتیب در گروه کنترل در مرحله پس‌آزمون ۲۴/۳، ۱۳/۱، ۱۰/۲، ۱۴/۷، ۲۶، ۹/۵، ۲۷/۹، ۲/۱، ۱/۴ به دست آمد. علاوه بر این میانگین نمرات شرکت‌کنندگان در متغیر ارزیابی مجدد، سرکوبی، تحمل پریشانی هیجانی، جذب شدن به وسیله هیجان‌ات منفی، برآورد ذهنی پریشانی، تنظیم تلاش‌ها برای تسکین پریشانی، تعداد پاسخ درست آزمون پاسات، تعداد پاسخ نادرست آزمون پاسات و زمان پاسخ آزمون پاسات به ترتیب در گروه کنترل در مرحله پس‌آزمون ۲۴/۴، ۱۴، ۱۰/۷، ۱۴، ۲۶/۲، ۱۰، ۲۸/۳، ۱/۶، ۱/۴ بود.

همچنین میانگین نمرات شرکت‌کنندگان در متغیر ارزیابی مجدد، سرکوبی، تحمل پریشانی هیجانی، جذب شدن به وسیله هیجان‌ات منفی، برآورد ذهنی پریشانی، تنظیم تلاش‌ها برای تسکین پریشانی، تعداد پاسخ درست آزمون پاسات، تعداد پاسخ

جدول-۲. نتایج آزمون لوین جهت بررسی همگنی واریانس‌ها

متغیر	شاخص آماری	سطح معنی داری
ارزیابی مجدد	۰/۴۶	۰/۵۰
سرکوبی	۰/۵۱	۰/۸۱
تحمل پریشانی هیجانی	۰/۲۹	۰/۵۹
جذب شدن به وسیله هیجان‌ات منفی	۰/۱۲	۰/۷۲
برآورد ذهنی پریشانی	۳/۹۲	۰/۰۶
تنظیم تلاش‌ها برای تسکین پریشانی	۰/۹۳	۰/۳۴
تعداد پاسخ درست (آزمون PASAT)	۰/۶۷	۰/۴۲
تعداد پاسخ نادرست (آزمون PASAT)	۰/۶۷	۰/۴۲
زمان پاسخ (آزمون PASAT)	۰/۰۹	۰/۷۵

جدول-۳. نتایج معنی داری اثر زمان و مداخله در متغیرهای پژوهش (تحلیل کوواریانس تک متغیره)

متغیر	اثر زمان		اثر مداخله در زمان (زمان*مداخله)	
	شاخص آماری	سطح معنی داری	شاخص آماری	سطح معنی داری
ارزیابی مجدد	۲/۴۶	۰/۱۴	۴/۲۸	۰/۰۴
سرکوبی	۰/۴۹	۰/۴۹	۵/۶۶	۰/۰۳
تحمل پریشانی هیجانی	۰/۴۶	۰/۵۳	۰/۱۴	۰/۷۱
جذب شدن به وسیله هیجان‌ات منفی	۳/۰۲	۰/۰۹	۶/۱۸	۰/۰۲
برآورد ذهنی پریشانی	۰/۸۶	۰/۱۲	۰/۷۵	۰/۲۹
تنظیم تلاش‌ها برای تسکین پریشانی	۰/۳۸	۰/۵۸	۵/۵۱	۰/۰۳
تعداد پاسخ درست (آزمون PASAT)	۲/۱۴	۰/۰۸	۴/۱۷	۰/۰۴
تعداد پاسخ نادرست (آزمون PASAT)	۰/۴۱	۰/۵۸	۰/۴۲	۰/۳۷
زمان پاسخ (آزمون PASAT)	۳/۷۴	۰/۰۷	۷/۱۱	۰/۰۱

$F = ۰/۴۲$ ، $P = ۰/۲۹$ ، تعداد پاسخ نادرست آزمون پاسات $F = ۰/۳۷$ ، $P = ۰/۳۷$ تفاوت معنی داری وجود ندارد. همچنین در مقایسه پیش و پس آزمون در هیچ کدام از مولفه‌های پژوهش، زمان به عنوان فاکتور معنی داری شناخته نشد.

بحث

پژوهش حاضر با هدف مطالعه تاثیر تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای با چگالی بالا (HD-tDCS) در قشر پیش پیشانی خلفی-جانبی (DLPFC) بر بهبود تنظیم هیجان افراد و سرعت پردازش اطلاعات مغز افراد انجام گرفت. نتایج نشان داد که بین گروه کنترل و گروه تحریک در نمرات پس آزمون از لحاظ مولفه‌های تحمل پریشانی هیجانی و برآورد ذهنی پریشانی تفاوت معنی داری بین گروه تحریک و کنترل وجود ندارد. ولی در مولفه‌های ارزیابی مجدد، سرکوبی، جذب شدن به وسیله هیجان‌ات منفی، تنظیم تلاش‌ها برای تسکین پریشانی تفاوت معنی داری وجود دارد. این تفاوت‌ها به گونه‌ای است که شرکت‌کنندگان گروه تحریک نسبت به گروه کنترل در نمرات پس آزمون مولفه‌های ارزیابی مجدد، سرکوبی، تنظیم تلاش‌ها برای تسکین پریشانی نمرات بالاتری کسب کردند. همچنین شرکت‌کنندگان گروه تحریک نسبت به گروه کنترل در نمرات پس آزمون مولفه جذب شدن به وسیله هیجان‌ات منفی نمرات پایین‌تری کسب کردند. در رابطه با تبیین اثربخشی تحریک الکتریکی بر مولفه ارزیابی مجدد مثبت

$F = ۰/۰۶$ ، $P = ۰/۹۳$ ، تنظیم تلاش‌ها برای تسکین پریشانی $F = ۰/۳۴$ ، $P = ۰/۳۴$ ، تعداد پاسخ درست آزمون پاسات $F = ۰/۶۷$ ، $P = ۰/۴۲$ ، تعداد پاسخ نادرست آزمون پاسات $F = ۰/۶۷$ ، $P = ۰/۴۲$ و زمان پاسخ آزمون پاسات $F = ۰/۰۹$ ، $P = ۰/۷۵$ می باشد. همانطور که مشخص است تمام متغیرها شرط همگنی واریانس را دارا بودند $(P > ۰/۰۵)$.

به منظور بررسی نقطه‌ی تفاوت، تحلیل کوواریانس تک متغیره (آنکوا) در متن تحلیل کوواریانس چند متغیره (مانکوا) انجام شد. نتایج این تحلیل در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج جدول ۳ برای هر متغیر نشان دهنده اثر زمان و اثر مداخله در آزمایش می‌باشد. همانطور که نتایج جدول ۳ نشان می دهد، پس از مداخله (تحریک) در مقایسه پیش و پس آزمون بین گروه تحریک و گروه کنترل از لحاظ متغیر ارزیابی مجدد $F = ۴/۲۸$ ، $P = ۰/۰۴$ ، سرکوبی $F = ۵/۶۶$ ، $P = ۰/۰۳$ ، جذب شدن به وسیله هیجان‌ات منفی $F = ۶/۱۸$ ، $P = ۰/۰۲$ ، تنظیم تلاش‌ها برای تسکین پریشانی $F = ۵/۵۱$ ، $P = ۰/۰۳$ ، تعداد پاسخ درست آزمون پاسات $F = ۴/۱۷$ ، $P = ۰/۰۴$ ، و زمان پاسخ آزمون پاسات $F = ۷/۱۱$ ، $P = ۰/۰۱$ تفاوت معنی داری وجود دارد $(P < ۰/۰۵)$. که این موضوع نشان دهنده اثربخشی مداخله (تحریک آندال) بر این مولفه‌ها بین گروه تحریک و کنترل می‌باشد. اما بین گروه تحریک و گروه کنترل از لحاظ متغیر تحمل پریشانی هیجانی $F = ۰/۱۴$ ، $P = ۰/۷۱$ ، برآورد ذهنی پریشانی $F = ۰/۷۵$ ،

پردازش اطلاعات، با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان نقش معنادار مداخله (تحریک) نسبت به زمان (پیش و پس‌آزمون) را استنباط کرد. به اینصورت که در مولفه تعداد پاسخ درست و زمان پاسخ شرکت‌کننده، تحریک آندال معنی‌داری را نمایش می‌دهد. اما در مولفه تعداد پاسخ نادرست معنی‌داری مشاهده نشده است. در تبیین نقش زمان در پس و پیش‌آزمون در هیچ کدام از مولفه‌های آزمون پاسات تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد که همین موضوع اثر تحریک الکتریکی بر بهبود سرعت پردازش اطلاعات در مغز را نشان می‌دهد. یافته‌های پژوهش حاضر همسو با تحقیقات دیگر است (۳۹،۴۵-۳۹) که همه این پژوهش‌ها نشان دادند تحریک الکتریکی مغز در بهبود سرعت پردازش توجه مغز کارآمد می‌باشد. به طور کلی در این پژوهش با مطالعه نتایج به دست آمده پیش و پس‌آزمون در طول اثر زمان و تحریک الکتریکی اینگونه برداشت شد که تحریک الکتریکی فراجمعه‌ای با چگالی بالا (HD-tDCS) به عنوان یک مداخله موثر در بهبود مولفه‌های تنظیم هیجان به کار می‌آید. همچنین می‌توان به اثر مثبت این مداخله به سرعت پردازش توجه مغز اشاره کرد که نکته قابل توجهی می‌باشد.

محدودیت‌های پژوهش

در این تحقیق محقق با محدودیت‌های خاصی از جمله محدود بودن تعداد افراد شرکت‌کننده در آزمون و منحصر بودن تحقیق به یک شهر خاص مواجه بود که این امر امکان تعمیم نتایج به سایر گروه‌ها را با محدودیت مواجه ساخت. در تحقیق فوق با توجه به محدود بودن زمان، امکان پیگیری اثرات تحریک الکتریکی جهت پایداری اثر بخشی آن در زندگی روزمره افراد نیز وجود نداشت. همچنین بررسی اثر تعداد کمی از مولفه‌ها (پرسشنامه‌ها و آزمون پاسات) نیز یکی دیگر از محدودیت‌های این تحقیق بود. علاوه بر موضوعات بیان شده، کمبود تحقیقات مدون در حوزه موضوع مورد پژوهش نیز دیگر محدودیت این تحقیق را رغم زد.

نتیجه‌گیری

تحریک الکتریکی فراجمعه‌ای با چگالی بالا (HD-tDCS) بر روی قشر پیش پیشانی خلفی-جانبی (DLPFC) سمت چپ باعث بهبود برخی از مولفه‌های بدتنظیمی هیجانی شده و همچنین میزان سرعت پردازش اطلاعات مغز را نیز بهبود می‌بخشد. توصیه می‌شود پژوهش حاضر در دیگر گروه‌های شرکت‌کننده (از لحاظ تعداد، جنسیت، سن و ...) نیز بررسی و تحقیق شود و در صورت امکان نتایج آن با نتایج این تحقیق مورد مقایسه قرار گیرد. همچنین با توجه به اینکه در این پژوهش مطالعه روی افراد سالم صورت گرفته بود، پیشنهاد می‌شود تا در پژوهش‌های آتی با مطالعه روی افرادی که دچار مشکلات روان‌شناختی هستند، به گسترش این موضوع به گروه افراد بیمار تلاش شود. همچنین پیشنهاد می‌شود تا علاوه بر مولفه‌های پرسشنامه‌ها، به دیگر مولفه‌های

می‌توان گفت ارزیابی مجدد مثبت به افکاری اشاره دارد که طی آن فرد می‌کوشد تا از رویدادهای منفی کنونی، معنایی مثبت در راستای رشد خود برداشت کند (۳۲). پژوهش‌ها نشان دادند که ارزیابی مجدد مثبت رابطه مثبتی با خوش‌بینی و عزت نفس و رابطه منفی با اضطراب دارد (۳۳).

در بررسی متون، پژوهشی که آن را بتوان با مطالعه حاضر مقایسه کرد وجود ندارد، اما این نتایج به طور غیرمستقیم با یافته‌های مطالعات مبنی بر اثر بخشی درمانی تحریک الکتریکی فراجمعه‌ای بر بهبود عملکردهای شناختی همسو می‌باشد (۳۴-۳۶).

مطالعات علوم اعصاب نشان داده‌اند که فعالیت مناطق پیشانی مغز از جمله منطقه پیش پیشانی خلفی-جانبی و منطقه پیش پیشانی میانی نقش مهمی در علوم شناختی و تنظیم هیجان دارد. از آنجایی که قشر جلوی مغز در پاسخ‌های شناختی و هیجانی نقش دارد، شبکه‌های قشر جلوی مغزی از جمله قشر پیش پیشانی خلفی-جانبی و قشر پیش پیشانی شکمی جانبی نقش مهمی در تعدیل پاسخ‌های هیجانی ایفا می‌کنند. نشان داده شده است هنگامی که به افراد آموزش داده می‌شود که پاسخ‌های هیجانی خود را نسبت به محرک‌های هیجانی (یعنی ارزیابی مجدد) تنظیم کنند، فعالیت در قشر پیش پیشانی خلفی-جانبی افزایش می‌یابد، در حالی که فعالیت در آمیگدال و تأثیرات منفی گزارش شده کاهش می‌یابد. مشخص شده که افزایش فعالیت قشر پیش پیشانی خلفی-جانبی سمت راست با اختلال در تنظیم هیجان، خلق و نقص در تنظیم توجه هیجانی همراه است، در حالی که افزایش فعالیت قشر پیش پیشانی خلفی-جانبی چپ با کارآمدی هیجان و تنظیم توجه هیجانی مرتبط است. در همین زمینه، بیماران مبتلا به اختلالات خلقی با عدم تعادل عملکردی قشر پیش پیشانی خلفی-جانبی همراه با بیش‌فعالی قشر پیش پیشانی خلفی-جانبی راست و کم-کاری بیش از حد قشر پیش پیشانی خلفی-جانبی چپ مشخص می‌شوند (۳۷).

مطالعه الکتروفیزیولوژیکی نشان می‌دهد که قشر پیش پیشانی خلفی-جانبی چپ به عنوان یک منطقه اصلی در پردازش هیجانی، خصوصاً در شرایط هیجانی منفی است. استفاده از تحریک الکتریکی آندال بر روی قشر پیش پیشانی خلفی-جانبی چپ در افراد سالم منجر به درک ناخوشایند کمتر، از تصاویر نشان دهنده درد در انسان می‌شود که این تأثیر احتمالاً به دلیل افزایش کنترل شناختی بیان هیجانی است. پیشنهاد شده است که قشر پیش پیشانی خلفی-جانبی، در تعدیل هیجانی درد نقش مهمی می‌تواند داشته باشد. مؤلفه عاطفی انگیزشی درد (یعنی ناخوشایند بودن درد یا درد هیجانی) به واکنش‌های هیجانی به یک محرک دردناک اشاره دارد، یعنی محرک‌های دردناک احساس ترس، انزجار، فرسودگی، غم و اندوه و اضطراب را برمی‌انگیزند که فرد را به سمت فرار یا کاهش منبع درد سوق می‌دهد (۳۸).

در تحلیل آزمون پاسات و نقش تحریک الکتریکی بر سرعت

همچنین تکرار این تکنیک نیز صورت گیرد تا به درک جامعی از اثر تحریک مغزی بر بدتنظیمی هیجانی دست پیدا شود.

تشکر و قدردانی: نویسندگان این طرح از آزمایشگاه مرکز تحقیقات علوم اعصاب و همچنین دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج) کمال تشکر را دارند. ایده اصلی، طراحی و نحوه انجام مراحل مختلف این پژوهش توسط سرپرست و نویسنده مسئول طرح (ع.م) ارائه شده است.

تضاد منافع: نویسندگان تصریح می‌کنند که هیچ‌گونه تضاد منافی در مطالعه حاضر وجود ندارد.

منابع

1. Pop-Jordanova N. Emotional Dysregulation is the Core Problem in Psychopathological Manifestations. *PRILOZI*. 2023;44(2):7-16. doi:10.2478/prilozi-2023-0020
2. Hosseini FS, Omidvar Y, Abbasi N. The role of executive functions and negative automatic thoughts in difficulties of emotion regulation in adolescent. *Clinical Psychology Studies*. 2017;7(26):83-111. doi:10.22054/jcps.2017.7393
3. Trevarthen C, Aitken KJ, Vandekerckhove M, Delafield-Butt J, Nagy E. For publication in Cicchetti & Cohen (Eds.) *Developmental Psychopathology*, Wileys, 2006.
4. Nolen-Hoeksema S, Wisco BE, Lyubomirsky S. Rethinking rumination. *Perspectives on Psychological Science*. 2008;3(5):400-24. doi:10.1111/j.1745-6924.2008.00088.x
5. Garnefski N, Kraaij V. Relationships between cognitive emotion regulation strategies and depressive symptoms: A comparative study of five specific samples. *Personality and Individual Differences*. 2006;40(8):1659-69. doi:10.1016/j.paid.2005.12.009
6. Gratz KL, Roemer L. Multidimensional assessment of emotion regulation and dysregulation: Development, factor structure, and initial validation of the difficulties in emotion regulation scale. *Journal of Psychopathology and Behavioral Assessment*. 2004;26:41-54. doi:10.1023/B:JOBA.0000007455.08539.94
7. Riddle DR, Presseller EK, Manasse SM, Juarascio AS. Latent profiles of emotion dysregulation among individuals with binge-spectrum eating disorders: Associations with eating disorder pathology. *European Eating Disorders Review*. 2023;31(6):793-801. doi:10.1002/erv.3009
8. Peña-Gómez C, Vidal-Pineiro D, Clemente IC, Pascual-Leone A, Bartres-Faz D. Down-regulation of negative emotional processing by transcranial direct current stimulation: effects of personality characteristics. *PloS One*. 2011;6(7):e22812. doi:10.1371/journal.pone.0022812
9. Elliott R. Executive functions and their disorders: Imaging in clinical neuroscience. *British Medical*

نکات بالینی کاربردی برای جوامع نظامی

- tDCS بر روی DLPFC سمت چپ، می‌تواند باعث بهبود برخی از مولفه‌های بدتنظیمی هیجانی در کلیه نیروهای نظامی نیازمند دقت بالا شده و میزان سرعت پردازش اطلاعات مغز آن‌ها را بهبود بخشد.

مغزی از جمله ارتباطات مغزی، باندهای فرکانسی، تحلیل مولفه‌های وابسته به رخداد نیز توجه شود و نتایج آن با نتایج این پژوهش مورد مقایسه قرار گیرد و نیز در تحقیقات آتی یک پیگیری یک تا دو ماهه برای ارزیابی ماندگاری نقش تحریک الکتریکی مغزی و

- Bulletin. 2003;65(1):49-59. doi:10.1093/bmb/65.1.49
10. Bohon C, Stice E. Negative affect and neural response to palatable food intake in bulimia nervosa. *Appetite*. 2012;58(3):964-70. doi:10.1016/j.appet.2012.02.051
11. Nitsche MA, Liebetanz D, Antal A, Lang N, Tergau F, Paulus W. Modulation of cortical excitability by weak direct current stimulation—technical, safety and functional aspects. *Supplements to Clinical Neurophysiology*. 2003; 56:255-76. doi:10.1016/S1567-424X(09)70230-2
12. Brunoni AR, Nitsche MA, Bolognini N, Bikson M, Wagner T, Merabet L, et al. Clinical research with transcranial direct current stimulation (tDCS): challenges and future directions. *Brain Stimulation*. 2012;5(3):175-95. doi:10.1016/j.brs.2011.03.002
13. Sadock BJ, Sadock VA, Kaplan HI. Kaplan and Sadock's concise textbook of child and adolescent psychiatry. Lippincott Williams & Wilkins; 2009.
14. Soltaninejad Z, Nejati V, Ekhtiari H. Effect of transcranial direct current stimulation on remediation of inhibitory control on right inferior frontal gyrus in attention deficit and hyperactivity symptoms. *The Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2014;3(4):1-9.
15. Allenby C, Falcone M, Bernardo L, Wileyto EP, Rostain A, Ramsay JR, et al. Transcranial direct current brain stimulation decreases impulsivity in ADHD. *Brain Stimulation*. 2018;11(5):974-81. doi:10.1016/j.brs.2018.04.016
16. Fregni F, Liguori P, Fecteau S, Nitsche MA, Pascual-Leone A, Boggio PS. Cortical stimulation of the prefrontal cortex with transcranial direct current stimulation reduces cue-provoked smoking craving: a randomized, sham-controlled study. *Journal of Clinical Psychiatry*. 2008;69(1):32-40.
17. Chrysikou EG, Wing EK, van Dam WO. Transcranial direct current stimulation over the prefrontal cortex in depression modulates cortical excitability in emotion regulation regions as measured by concurrent functional magnetic resonance imaging: an exploratory study. *Biological Psychiatry: Cognitive Neuroscience and Neuroimaging*. 2022;7(1):85-94. doi:10.1016/j.bpsc.2019.12.004

18. Salvi C, Beeman M, Bikson M, McKinley R, Grafman J. TDCS to the right anterior temporal lobe facilitates insight problem-solving. *Scientific Reports*. 2020;10(1):946. doi:10.1038/s41598-020-57724-1
19. Cosmo C, DiBiasi M, Lima V, Grecco LC, Muszkat M, Philip NS, et al. A systematic review of transcranial direct current stimulation effects in attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of Affective Disorders*. 2020;276:1-3. doi:10.1016/j.jad.2020.06.054
20. Villamar MF, Volz MS, Bikson M, Datta A, DaSilva AF, Fregni F. Technique and considerations in the use of 4x1 ring high-definition transcranial direct current stimulation (HD-tDCS). *Journal of Visualized Experiments*. 2013(77):e50309. doi:10.3791/50309
21. Breitling C, Zaehle T, Dannhauer M, Tegelbeckers J, Flechtner HH, Krauel K. Comparison between conventional and HD-tDCS of the right inferior frontal gyrus in children and adolescents with ADHD. *Clinical Neurophysiology*. 2020;131(5):1146-54. doi:10.1016/j.clinph.2019.12.412
22. Harrie A, El Jamal C, Padgett M, Rahman-Filipiak A, Hampstead BM. 66 Tolerability of HD-tDCS at Total Amplitudes of 2mA to 10mA in Older Adults. *Journal of the International Neuropsychological Society*. 2023;29(s1):473-4. doi:10.1017/S1355617723006161
23. Chen C, Fang Y, Wang X, Bao SC, Tang Z, Tong RK. Excitation comparison between multi-site stimulation using network-based tDCS and focal stimulation using high-definition tDCS. In: 2019 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC) 2019. doi:10.1109/EMBC.2019.8857287
24. To WT, Hart J, De Ridder D, Vanneste S. Considering the influence of stimulation parameters on the effect of conventional and high-definition transcranial direct current stimulation. *Expert Review of Medical Devices*. 2016;13(4):391-404. doi:10.1586/17434440.2016.1153968
25. Masina F, Arcara G, Galletti E, Cinque I, Gamberini L, Mapelli D. Conventional vs. high-definition tDCS: a comparison of neurophysiological and behavioural effects. *Research Square*. 2020:1-11. doi:10.21203/rs.3.rs-128899/v1
26. Kuo HI, Bikson M, Datta A, Minhas P, Paulus W, Kuo MF, et al. Comparing cortical plasticity induced by conventional and high-definition 4x1 ring tDCS: a neurophysiological study. *Brain Stimulation*. 2013;6(4):644-8. doi:10.1016/j.brs.2012.09.010
27. Zhou S, Qiu X, He Z, Zhang D. Non-invasive brain stimulation-based emotion regulation interventions. *Advances in Psychological Science*. 2023;31(8):1477-95. doi:10.3724/SP.J.1042.2023.01477
28. Peng L, Tian L, Wang T, Wang Q, Li N, Zhou H. Effects of non-invasive brain stimulation (NIBS) for executive function on subjects with ADHD: a protocol for a systematic review and meta-analysis. *BMJ Open*. 2023;13(3):e069004. doi:10.1136/bmjopen-2022-069004
29. Simons JS, Gaher RM. The Distress Tolerance Scale: Development and validation of a self-report measure. *Motivation and Emotion*. 2005;29(2):83-102. doi:10.1007/s11031-005-7955-3
30. Gross JJ, John OP. Individual differences in two emotion regulation processes: implications for affect, relationships, and well-being. *Journal of Personality and Social Psychology*. 2003;85(2):348. doi:10.1037/0022-3514.85.2.348
31. Nikravesh M, Jafari Z, Mehrpour M, Kazemi R, Shavaki YA, Hossienifar S, et al. The paced auditory serial addition test for working memory assessment: Psychometric properties. *Medical journal of the Islamic Republic of Iran*. 2017;31:61. doi:10.14196/mjiri.31.61
32. Garnefski N, Kraaij V, Spinhoven P. Negative life events, cognitive emotion regulation and emotional problems. *Personality and Individual Differences*. 2001;30(8):1311-27. doi:10.1016/S0191-8869(00)00113-6
33. Carver CS, Scheier MF, Weintraub JK. Assessing coping strategies: a theoretically based approach. *Journal of Personality And social Psychology*. 1989;56(2):267.
34. Chang CC, Kao YC, Chao CY, Chang HA. Enhancement of cognitive insight and higher-order neurocognitive function by fronto-temporal transcranial direct current stimulation (tDCS) in patients with schizophrenia. *Schizophrenia Research*. 2019;208:430-8. doi:10.1016/j.schres.2018.12.052
35. Jeon DW, Jung DU, Kim SJ, Shim JC, Moon JJ, Seo YS, et al. Adjunct transcranial direct current stimulation improves cognitive function in patients with schizophrenia: a double-blind 12-week study. *Schizophrenia Research*. 2018;197:378-85. doi:10.1016/j.schres.2017.12.009
36. Doruk D, Gray Z, Bravo GL, Pascual-Leone A, Fregni F. Effects of tDCS on executive function in Parkinson's disease. *Neuroscience Letters*. 2014;582:27-31. doi:10.1016/j.neulet.2014.08.043
37. Volkow ND, Koob GF, McLellan AT. Neurobiologic advances from the brain disease model of addiction. *New England Journal of Medicine*. 2016;374(4):363-71. doi:10.1056/NEJMr1511480
38. Boggio PS, Zaghi S, Fregni F. Modulation of emotions associated with images of human pain using anodal transcranial direct current stimulation (tDCS). *Neuropsychologia*. 2009;47(1):212-7. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2008.07.022
39. Bandeira ID, Guimarães RS, Jagersbacher JG, Barretto TL, de Jesus-Silva JR, Santos SN, et al. Transcranial direct current stimulation in children and adolescents with attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD) a pilot study. *Journal of Child Neurology*. 2016;31(7):918-24. doi:10.1177/0883073816630083
40. Breitling C, Zaehle T, Dannhauer M, Bonath B, Tegelbeckers J, Flechtner HH, et al. Improving interference control in ADHD patients with transcranial direct current stimulation (tDCS).

Frontiers in Cellular Neuroscience. 2016;10:72. doi:10.3389/fncel.2016.00072

41. Cosmo C, Ferreira C, Miranda JG, Do Rosario RS, Baptista AF, Montoya P, et al. Spreading effect of tDCS in individuals with attention-deficit/hyperactivity disorder as shown by functional cortical networks: a randomized, double-blind, sham-controlled trial. *Frontiers in Psychiatry*. 2015;6:111. doi:10.3389/fpsyt.2015.00111

42. Ditye T, Jacobson L, Walsh V, Lavidor M. Modulating behavioral inhibition by tDCS combined with cognitive training. *Experimental Brain Research*. 2012;219:363-8. doi:10.1007/s00221-012-3098-4

43. Fregni F, Boggio PS, Nitsche M, Bermanpohl F, Antal A, Feredoes E, et al. Anodal transcranial direct

current stimulation of prefrontal cortex enhances working memory. *Experimental Brain Research*. 2005;166:23-30. doi:10.1007/s00221-005-2334-6

44. Oliveira JF, Zanão TA, Valiengo L, Lotufo PA, Benseñor IM, Fregni F, et al. Acute working memory improvement after tDCS in antidepressant-free patients with major depressive disorder. *Neuroscience Letters*. 2013;537:60-4. doi:10.1016/j.neulet.2013.01.023

45. Prehn-Kristensen A, Munz M, Göder R, Wilhelm I, Korr K, Vahl W, et al. Transcranial oscillatory direct current stimulation during sleep improves declarative memory consolidation in children with attention-deficit/hyperactivity disorder to a level comparable to healthy controls. *Brain Stimulation*. 2014;7(6):793-9. doi:10.1016/j.brs.2014.07.036