Neuropsychology Open Access

Winter (2024) 9 (35): 75-88

DOI: 10.30473/clpsy.2024.71218.1744

ORIGINAL ARTICLE

Effectiveness of Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) on Cognitive Flexibility, Problem-Solving and Brain Proccesing Speed in students

Mahdieh Rahmanian[1], Elham Lobnia[2]

1. Associate professor, of psychology, Payame Noor, University, Tehran, Iran
2. Master of psychology, Department of psychology, Payame Noor University, Tehran, Iran.

Correspondence:
Elham Lobnia
Email: **e_lobnia@yahoo.com**

Received: 05/May/2023
Accepted: 03/Oct/2023

How to cite:
Rahmanian, M., & Lobnia, E. (2024). Effectiveness of Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) on Cognitive Flexibility, Problem Solving and Brain Processing Speed in Students. *Neuropsychology*, *9*(35),75 - 88. doi: 10.30473/clpsy.2024.71218.1744

ABSTRACT

Overcoming problems and solving them, and maintaining mental and physical health in life, are very important. By improving cognitive abilities and increasing the processing speed of the mind, it is possible to improve the quality and health of life throughout life. The main goal of this research is to investigate the effect of transcranial direct current electrical stimulation (tDCS) on cognitive flexibility, problem-solving and brain processing speed in students. This research was conducted as a semi-experimental design with a pre-test and post-test and a one-month follow-up phase. In this research, 30 people were selected as a sample using the purposeful sampling method and they were randomly divided into two experimental and control groups. The tDCS test group was subjected to electrical stimulation for two weeks and in 10 sessions, with a current intensity of 2 milliamps and for 20 minutes. At first, after finishing the stimulation program, and also one month later, tests of cognitive flexibility, problem-solving and brain processing speed were taken from both groups and the results were analyzed using a covariance test with repeated measurements. Based on the obtained results, it was observed that the difference between the groups is significant and indicates a positive and significant effect of intracranial direct current stimulation on cognitive flexibility, problem-solving and brain processing speed. Also, according to the one-month follow-up phase, the mentioned effects are stable.

KEYWORDS

tDCS ،cognitive flexibility ،problem-solving ،brain processing speed

Copyright © 2024 The Authors. Published by Payame Noor University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

عصب روان‌شناسی

دوره ۹، شماره ۳۵، بهمن ۱۴۰۲ (۷۵-۸۸)

DOI: 10.30473/clpsy.2024.71218.1744

«مقاله پژوهشی»

اثربخشی تحریک الکتریکی فرا جمجمه‌ای با جریان مستقیم (tDCS) بر انعطاف‌پذیری شناختی، حل مسئله و سرعت پردازش مغز در دانشجویان

مهدیه رحمانیان[۱]، الهام لبنیا[۲]

۱. دانشیار گروه روانشناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۲. کارشناسی ارشد روانشناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

نویسنده مسئول:
الهام لبنیا
رایانامه: **e_lobnia@yahoo.com**

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲ /۰۷/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۱۵

استناد به این مقاله:

رحمانیان, مهدیه ,لبنیا, الهام. (۱۴۰۲). اثربخشی تحریک الکتریکی فراجمجمه ای با جریان مستقیم (tDCS)بر انعطاف پذیری شناختی، حل مسئله و سرعت پردازش مغز در دانشجویان .*عصب روان شناسی* ,۹(۳۵) ۷۵-۸۸

doi: 10.30473/clpsy.2024.71218.1744

چکیده

غلبه بر مشکلات و راه‌حل دادن به آن‌ها، و حفظ سلامت روانی و جسمی در زندگی، از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. با ارتقاء توانایی‌های شناختی و افزایش سرعت پردازش ذهن، می‌توان کیفیت و سلامت زندگی را در طول عمر بهبود بخشید. هدف اصلی از این پژوهش، بررسی تأثیر تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای با جریان مستقیم (tDCS) بر انعطاف‌پذیری شناختی، حل مسئله و سرعت پردازش مغز در دانشجویان است. این پژوهش به‌صورت طرح نیمه آزمایشی با پیش‌آزمون و پس‌آزمون و مرحله پیگیری یک‌ماهه انجام شد. در این پژوهش، ۳۰ نفر به‌عنوان نمونه با استفاده از روش نمونه‌گیری هدفمند انتخاب شدند و به‌صورت تصادفی ساده در دو گروه آزمایش و کنترل قرار گرفتند. گروه آزمایش tDCS در طی دو هفته و در ۱۰ جلسه، با شدت جریان ۲ میلی‌آمپر و به مدت ۲۰ دقیقه، تحت تحریک الکتریکی قرار گرفتند. در ابتدا، پس از اتمام برنامه تحریک، و همچنین یک ماه پس از آن، آزمون‌های انعطاف‌پذیری شناختی، حل مسئله و سرعت پردازش مغز از هر دو گروه گرفته شد و نتایج با استفاده از آزمون کوواریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر تحلیل شدند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، مشاهده شد که تفاوت بین گروه‌ها معنادار بوده و نشان‌دهنده تأثیر مثبت و معنادار تحریک جریان مستقیم فرا جمجمه‌ای بر انعطاف‌پذیری شناختی، حل مسئله و سرعت پردازش مغز است. همچنین، با توجه به مرحله پیگیری یک‌ماهه، تأثیرات مذکور دارای پایداری هستند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

واژه‌های کلیدی

تحریک جریان مستقیم فرا جمجمه‌ای، انعطاف‌پذیری شناختی، حل مسئله، سرعت پردازش

حق انتشار این مستند، متعلق به نویسندگان آن است. ۱۴۰۳ ©. ناشر این مقاله، دانشگاه پیام نور است.

این مقاله تحت گواهی زیر منتشرشده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است.
Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

مقدمه

برخورداری از سلامت روان و ارتقای آن امری ضروری است؛ زیرا فردی با روان سالم، ازنظر شغلی و اجتماعی سازنده است، در زندگی دارای آرامش کامل و امنیت درونی است و توانایی مقابله با تنش‌های روزمره زندگی را دارد (منسون، پریس و بسرا[1]، ۲۰۲۲). مؤلفه‌های بسیاری در وجود سلامت روان می‌تواند تأثیرگذار باشد. از مهم‌ترین این مؤلفه‌ها کارکردهای اجرایی[2] که جزو کارکردهای شناختی انسان است که شامل حافظه کاری، تفکر انعطاف‌پذیر، خودکنترلی، درک دیدگاه‌های مختلف، تنظیم احساسات، اعمال خود نظارتی، توجه، سازمان‌دهی، برنامه‌ریزی شروع کارها و تمرکز روی آن‌ها تا تکمیل مرحله می‌شود (ای بوستون[3]،۲۰۲۳). کارکرد اجرایی نوعی فراتفکر است و مغز برای عملکرد مناسب نیاز به یک سیستم اجرایی دارد که بیشتر لوب پیشانی[4] را درگیر می‌سازد (مزاکاپا[5]، ۲۰۱۶). از مهم‌ترین فرایندهای شناختی این سیستم می‌توان به انعطاف‌پذیری شناختی[6] و قدرت حل مسئله[7] اشاره کرد. انعطاف‌پذیری شناختی به معنای توانایی تغییر تفکر برای تطبیق با موقعیت‌های جدید است. (چن، لی کو، هانگ[8]. ۲۰۲۲). افراد با انعطاف‌پذیری شناختی بالا توانایی ارتباط بین موقعیت‌ها و متغیرهای مختلف را دارند. آن‌ها در پیشامدهای غیرمنتظره مانند تغییر برنامه در آخرین لحظه، اتفاق ناگوار ناگهانی، رفتن به مکان‌های جدید، تغییر شغل و ... به‌خوبی خود را با شرایط تطبیق می‌دهند (تیمورپور و محمودی، ۱۳۹۴). بر اساس پژوهش‌هایی که انجام‌گرفته است، رابطه‌ی مثبت و معناداری بین انعطاف‌پذیری شناختی و سلامت روان وجود دارد (منسون، پریس، رودریگو. ۲۰۲۲) و همچنین شواهدی مبنی بر تأثیر مثبت تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز بر انعطاف‌پذیری شناختی نشان داده‌شده است (سویاتا، آکسو، وودز و همکاران[9]، ۲۰۱۹). بر اساس نظریه گانیه[10] مهارت حل مسئله، اجتناب‌ناپذیر و بالاترین سطح یادگیری است و مستلزم تلاش، اراده، خلاقیت و توانایی نرفتن از راه مستقیم همیشگی است (داکری، ونگ، بیربامر و همکاران[11]. ۲۰۰۹). حل مسئله، تفکر و ایجاد اقداماتی واسطه‌ای برای رسیدن به یک هدف در زمان نبود پاسخ است (ویتلی[12]، ۱۹۸۴). پژوهش ها نشان می دهند که در هنگام حل مسئله افزایش فعالیت در قسمت پیشانی کورتکس مشاهده‌شده است (دی برناردی لوفت، زیوگا، بانیسی و همکاران[13]، ۲۰۱۷).

بیش از یک قرن است که روانشناسان از بررسی زمان واکنش به‌عنوان پنجره‌ای به مشاهده‌ی مغز استفاده کرده‌اند. مدت‌زمان دریافت، درک و پاسخ به اطلاعات دریافتی توسط مغز سرعت واکنش مغز به محرک‌های دریافت شده از دستگاه‌های دیداری، شنیداری، کلامی و حرکتی بدن را سرعت پردازش مغز گویند (وونگ، لیو، لی و همکاران[14]، ۲۰۲۱). هرچه ارتباطات مغز بیشتر باشد، سرعت حرکت سیگنال‌های مغز بالاتر و سرعت پردازش در آن نیز بالاتر است (نرماشیری، اشرفی، رستمی و همکاران، ۱۳۹۶). یکی از روش‌های مطالعه‌ی مغز و تغییر در سیگنال و فعالیت آن‌که در سال‌های اخیر افزایش قابل‌توجهی داشته؛ استفاده از تحریک الکتریکی فرا جمجمه‌ای مغز با جریان مستقیم (tDCS)[15] است. در این روش با استفاده از دو الکترود آند و کاتد جریان الکتریکی ضعیفی، حداکثر تا ۲ میلی‌آمپر، قشر مغز را تحریک می‌کند. دو الکترود مثبت و منفی از طریق پد اسفنجی آغشته به محلول رسانا بر روی سر قرار می‌گیرد و جریان الکتریکی را با عبور از پوست سر و جمجمه به قشر مغز می‌رساند و موجب قطبی شدن نورون‌ها شده و فعالیت آن ناحیه را تغییر می‌دهد. در تحریک مثبت (آندال)[16] تحریک‌پذیری عصبی افزایش و در تحریک منفی (کاتدال)[17] تحریک‌پذیری عصبی کاهش می‌یابد. پژوهش‌ها

1. Monsoon، Preece and Becerra
2. Executive function
3. Iboston
4. Frontal lobe
5. Mezzacappa
6. Cognitive flexibility
7. Problem solving
8. Chen، LiQu، Hong
9. Soyata، Aksu، Woods et al
10. Robert Gagne
11. Dockery، Weng، Birbaumer et al
12. Wheatley
13. Di Bernardi، Luft، Zioga Banissy et al
14. Wong، Liu، Lee et al
15. Transcranial Direct Current Stimulation
16. anodal
17. catodal

نشان دادند که tDCS در کارکردهای شناختی می‌تواند تأثیرگذار باشد و آن‌ها را افزایش دهد. زمانی و دوستان (۱۳۹۶)، در پژوهش خود باهدف بررسی تأثیر tDCS بر حافظه کاری و زمان واکنش دختران ورزشکار نشان دادند که tDCS می‌تواند موجب بهبود حافظه کاری و کاهش زمان واکنش شود. جهانی، ناصحی، تهرانی دوست و همکاران (۱۴۰۱)، در پژوهشی که در ۳۲ فرد مبتلا به مولتیپل اسکلروزیس(MS) انجام دادند به این نتیجه دست یافتند که توجه پایدار و سرعت پردازش در گروه آزمایش در اثر تحریک افزایش یافته است. مهرولی، آتش‌افروز و امیدیان (۱۴۰۲)، بر اساس پژوهشی که بر روی کودکان دارای اختلال یادگیری خاص به‌منظور مقایسه تأثیر دو روش تحریک الکتریکی فرا جمجمه‌ای با جریان مستقیم و برنامه یکپارچگی حسی–حرکتی بر انعطاف‌پذیری شناختی انجام دادند به این نتیجه دست یافتند که روش tDCSتأثیر بیشتری بر افزایش انعطاف‌پذیری شناختی دارد. واله، باجو و آریزا (۲۰۲۰)، در پژوهشی نقش DLPFC را در تعدیل دسترسی به حافظه و استدلال قیاسی بررسی کرد. نیمی از شرکت‌کنندگان که تحریک کاتدی tDCS بر DLPFC راست را دریافت کرده بودند قدرت استدلال قیاسی آن‌ها افزایش‌یافته بود. موضوع پژوهش سالوی، بیمن، بیکسون و همکاران[1] (۲۰۲۰)، تأثیر تحریک tDCS لوب گیجگاهی قدامی راست در حل مسئله بود. نتایج نشان داد که افراد در حین و بعد از دریافت تحریک در این ناحیه بهبود در توانایی حل مسئله را نشان می‌دهند. بررسی‌های پیشین نشان داده که عدم انجام مراحل پیگیری پس از تحریک tDCS، ممکن است باعث ناپایداری و عدم قطعیت در نتایج گردد؛ بنابراین، طراحی و اجرای پژوهش‌هایی که به‌طور جامع و نوآورانه به اعمال تحریک tDCS و مراحل پیگیری پس از آن می‌پردازند، می‌تواند به تعمیق در درک از اثرات این تکنیک و بهبود عملکرد شناختی و سلامت روانی افراد کمک کند (راینهارت، کازمن، فوکودا و همکاران[2] ۲۰۱۷). درنتیجه، مطالعاتی که از این جنبه نگرش جدیدی به حل مسائل و بهبود عملکرد مغزی دارند، اساساً برای توسعه جوامع سالم و پویا اساسی محسوب می‌شوند (استرند، کواسیک، فانتوویچ و همکاران[3] ۲۰۲۲).

با توجه به ارتباطی که مؤلفه‌های انعطاف‌پذیری شناختی، حل مسئله و سرعت پردازش مغز با سلامت روان دارند و پژوهش‌هایی که پیرامون توانایی تأثیر tDCS به‌عنوان ابزار نوروسایکولوژی در برخی کارکردهای شناختی انجام‌شده است؛ هدف پژوهش حاضر این است که تأثیرگذاری tDCS بر انعطاف‌پذیری شناختی، حل مسئله و سرعت پردازش مغز را ارزیابی کند.

روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش از نوع نیمه آزمایشی پیش‌آزمون پس‌آزمون با گروه کنترل و مرحله پیگیری با فاصله یک ماه است. در این پژوهش ۳۰ نفر از دانشجویان ۲۰ تا ۳۰ سال دانشگاه پیام نور تهران جنوب به‌صورت نمونه‌گیری هدفمند به‌عنوان نمونه انتخاب شدند وبه‌صورت تصادفی در دو گروه آزمایش و شم قرار گرفتند. ملاک‌های ورود به پژوهش: دامنه سنی ۲۰–۳۰ سال و سلامت جسمانی و روانی بود. ملاک‌های خروج از پژوهش: سابقه صرع وتشنج، وجود هرگونه شیء فلزی در بدن وابتلا به بیماری‌های جسمانی واختلالات روانی بود.

آزمون دسته بندی کارت های ویسکانسین(WCST)

گرانت و برگ آزمون دسته‌بندی کارت‌های ویسکانسین (wcst) را برای اولین بار در سال ۱۸۴۲ به‌منظور مطالعه‌ی رفتار انتزاعی و تغییر مجموعه تهیه کردند. این آزمون یک آزمون استدلال شناختی است و درمجموع کارکردهای اجرایی را ارزیابی می‌کند که شامل حافظه فعال، انعطاف‌پذیری شناختی و کنترل بازدارندگی می‌شود. در این پژوهش از نرم‌افزار دسته‌بندی کارت‌های ویسکانسین موسسه تحقیقات علوم رفتاری شناختی سینا استفاده شد در

1. Salvi، Beeman، Bikson et al
2. Reinhart، Cosman، Fukuda et al
3. Strand، Kovacic، Funtowicz et al

این آزمون ۶۴ کارت که روی آن تعداد ۱ تا ۴ و یکی از اشکال مثلث، ستاره، به‌علاوه و دایره به رنگ قرمز، سبز، زرد و آبی وجود دارد که هر مرتبه یکی از کارت‌ها در پایین صفحه به آزمودنی ارائه می‌شود و آزمودنی باید با پیدا کردن اصل طبقه‌بندی طبق رنگ، شکل و تعداد کارت نشان داده‌شده را به یکی از چهار کارت اصلی بالای صفحه که شامل یک مثلث قرمز، دوستاره سبز، سه بعلاوه زرد و چهار دایره آبی هستند ارتباط دهد، بعد از هر پاسخ برای هر کارت آزمودنی بازخورد درست یا نادرست را از نرم‌افزار دریافت می‌کند و بر این اساس باید الگوی موردنظر را پس از هر پاسخ بیابد هیچ کارتی تکراری نیست بعد از تعداد کافی پاسخ درست الگو تغییر می‌کند بدون اینکه آزمودنی از آن آگاه باشد و خود باید متوجه آن بشود دو نمره اصلی در این آزمون تعداد طبقات درست و تعداد خطاهای در جاماندگی است.

میزان روایی این آزمون را برای سنجش نقایص شناختی در پی آسیب‌های مغزی ۰.۸۶ گزارش کرده است و ضریب توافق میان ارزیابی‌کنندگان در پژوهش استراس و اسپیرمن ۱۹۹۱،۰.۸۳ /به‌دست‌آمده و به عقیده کوب ۲۰۱۹ آزمون ویسکانسین کاملاً قابل‌اعتماد بوده و برای ارزیابی عصب روان‌شناختی مطلوب است. ضریب آلفای کرونباخ تعداد طبقات درست ۰.۷۳ و تعداد خطاهای در جاماندگی ۰.۷۴ و ضریب دو نیم آزمون به ترتیب ۰.۸۳ و ۰.۸۷ گزارش‌شده و روایی افتراقی نسخه کامپیوتری آن برای تفکیک افراد سالم از مضطرب تأیید شده است.

آزمون برج لندن

آزمون برج لندن، اولین بار توسط شالیس در سال ۱۹۸۲ به‌منظور ارزیابی توانایی برنامه‌ریزی و حل مسئله به‌ویژه تشخیص نقص این دو در بیماران دارای ضایعات لوب فرونتال طراحی شد. شکل اصلی این آزمون تشکیل‌شده است از یک‌تخت چوبی سه میل با طول‌های متفاوت و دو مهره با رنگ‌های متفاوت. مهره‌ها را در حالت پیش‌فرض قرار می‌دهیم و سپس از آزمودنی می‌خواهیم مطابق با الگویی که مقابل آن‌ها قرار می‌گیرد مهره‌ها را یکی‌یکی آن‌قدر در میله‌ها جابجا کنند تا مطابق شکل الگو بشود. ۴۴ تصویر الگو وجود دارد که حداقل تعداد حرکت مجاز برای هرکدام مشخص‌شده است. براساس نظر شالیس توانایی حل مسئله با توجه به تعداد حرکت آزمودنی برای رسیدن به الگوی مربوطه مشخص می‌شود. هرچه تعداد حرکت بیشتر باشد توانایی و مهارت فرد در حل مسئله کمتر خواهد بود. میزان زمان ثبت‌شده برای طراحی قبل از شروع حرکت و در حین آن نیز مهم است و هر چه میزان آن کمتر باشد، توانایی حل مسئله در فرد بالاتر است. در این پژوهش از نسخه نرم‌افزاری آزمون برج لندن موسسه پژوهشی روانشناسی شناختی سینا استفاده شد در این آزمون آزمودنی می‌بایست با حرکت دادن و جابجایی مهره‌ها تصویر را مانند تصویر نمونه یکسان‌سازی کند با این قانون که فقط مهره‌های بالایی را می‌توان جابجا کرد ۱۲ تصویر و مرحله وجود دارد که هر مرحله تعداد حرکت مجاز دارد و آزمودنی اگر بیشتر از حد مجاز مهره‌ها را حرکت دهد تا سه بار می‌تواند تلاش کند پایایی این آزمون موردقبول و ۰.۷۹ گزارش‌شده است.

آزمون زمان واکنش

به‌منظور ارزیابی و سنجش سرعت پردازش مغز با توجه به مقالات از سنجش زمان واکنش استفاده می‌شود. در این پژوهش برای سنجش زمان واکنش از نرم‌افزار زمان‌سنج واکنش موسسه تحقیقاتی سینا استفاده شد به‌طورمعمول زمان واکنش سه شیوه مختلف اندازه‌گیری دارد ۱ زمان واکنش ساده پاسخ و عکس‌العمل نسبت به یک محرک ساده دیداری یا شنیداری ۲ زمان واکنش تشخیصی پاسخ به یک محرک دیداری یا شنیداری مدنظر از بین دو محرک زمان واکنش انتخابی پاسخ به یک محرک با دست یا پای راست یا چپ و پاسخ به آن‌یکی محرک با دست یا پای دیگر در این پژوهش به‌منظور سنجش سرعت پردازش هر سه نوع زمان واکنش با هر دو محرک دیداری و شنیداری سنجیده شد بدین‌صورت که در واکنش ساده دیداری با ارائه محرک دایره سفید در صفحه لپ‌تاپ آزمودنی به‌محض دیدن محرک پاسخ می‌داد و در واکنش ساده شنیداری به‌محض شنیدن صوت ۲۵۰ هرتز باید عکس‌العمل نشان می‌داد و دکمه را می‌زد و همچنین در واکنش تشخیصی

دیداری با ارائه دو محرک دایره سفید و قرمز آزمودنی باید به‌محض دیدن دایره سفید کلید را فشار می‌داد و در ارائه دایره قرمز در صفحه پاسخی نمی‌داد و در واکنش تشخیصی با محرک شنیداری آزمودنی باید دو صوت ۵۰۰ هرتز و ۲۵۰ هرتز را از یکدیگر تشخیص تنها به صوت ۲۵۰ هرتز پاسخ می‌داد. در سنجش زمان واکنش انتخابی با محرک دیداری آزمودنی با دست راست به محرک اول دایره سفید و با دست چپ به محرک دوم دایره قرمز پاسخ می‌داد و در ارائه محرک شنیداری نیز با ارائه محرک اول ۲۵۰ هرتز با دست راست و با ارائه دوم ۵۰۰ هرتز با دست چپ کلید را فشار می‌داد.

مهم‌ترین ابزار این پژوهش، یکی از انواع دستگاه‌های نوروتراپی[1] شرکت مدیناطب گستر است که به‌وسیله آن تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای با جریان مستقیم (tdcs) انجام شد که با استفاده از دو الکترود آند به‌عنوان قطب مثبت و تحریک‌کننده و کاتد به‌عنوان قطب منفی و بازدارنده و مهارکننده جریان با شدت یک‌دهم تا ۰.۲ میلی‌آمپر را از پوست سر و جمجمه عبور داده و قشر مغز را تحت تأثیر قرار می‌دهد و با کلاه مخصوص آن‌ها را ثابت در نقطه دلخواه قرار داده و نگه می‌دارد سپس آزمونگر با توجه به شدت‌جریان و مدت‌زمان انتخابی و تعداد جلسه مدنظر خود دستگاه را تنظیم و مداخله را شروع می‌کند این دستگاه با باتری قابل شارژ کار می‌کند و با توجه به شدت‌جریان پایینی که عبور می‌دهد کاملاً بی‌خطر است. مارک دستگاه استفاده‌شده در این پژوهش neurostime2 ساخته‌شده توسط شرکت مدینا طب بود.

در این پژوهش، بعد از صحبت و بررسی سوابق بیماری و مصرف الکل و دخانیات افراد داوطلب از بین دانشجویان دانشگاه پیام نور تهران–جنوب و اطمینان از نبود هرگونه سابقه بیماری جسمی و روانی ۳۰ نفر وارد پژوهش شدند. افراد نمونه به‌صورت تصادفی در دو گروه آزمایش و شم به‌عنوان گروه کنترل در پژوهش قرار گرفتند. قبل از اجرای جلسات توضیحی درباره روند انجام آزمایش، دستگاه، نحوه کار با آن، بی‌ضرر بودن و عوارض احتمالی با آزمودنی‌ها صحبت شد و در مورد حفظ کامل اطلاعات و رعایت کامل امر رازداری در تمامی اطلاعات آن‌ها به آن‌ها اطمینان خاطر داده شد و رضایت کتبی از آن‌ها گرفته شد. در جلسه اول از هر دو گروه آزمون‌های کارت ویسکانسین، برج لندن و زمان واکنش ساده تشخیصی و انتخابی به‌صورت دیداری و شنیداری گرفته شد و بدین نحو اطلاعات پیش‌آزمون به دست آمد. برنامه مداخله تحریک الکتریکی فرا جمجمه‌ای با جریان مستقیم (tDCS) با شدت‌جریان ۲ میلی‌آمپر طی ۱۰ جلسه ۲۰ دقیقه‌ای به صورت پنج روز در هفته به مدت دو هفته بر گروه آزمایش اعمال شد و برای گروه شم همین برنامه با تفاوت اینکه هرجلسه تنها ۳۰ ثانیه تحریک را دریافت کردند سپس جریان خاموش شد بدون اینکه آن‌ها خود از این موضوع اطلاع داشته باشند اجرا شد. اندازه سر آزمودنی‌ها بر اساس سیستم بین‌المللی ۱۰–۲۰ برای پیدا کردن نقاط مدنظر اندازه‌گیری شد در این مداخله نقطه F3 منطقه پیش پیشانی خلفی جانبی چپ به‌عنوان آند و نقطه FP2 به عنوان کاتد انتخاب و تحریک اجرا شد (سادات سیدی و بافنده قراملکی، ۱۳۹۶). به دلیل تأثیراتی که برخی موارد بر نتیجه تحریک tDCS می‌تواند داشته باشد قبل از هر جلسه از اینکه آزمودنی مواد کافئین‌دار ازجمله قهوه و غیره مصرف نکرده باشد و تمرینات بدنی انجام نداده باشد و خواب کافی داشته باشد و خواب‌آلوده نباشد اطمینان حاصل می‌شد. سپس با پایان یافتن برنامه مداخله‌ای مجدد آزمون‌های کارت‌های ویسکانسین برج لندن و زمان واکنش از تمامی آزمودنی‌ها گرفته شد. در نهایت نیز بعد از یک ماه از مرحله پس آزمون جهت اطمینان از ثبات تاثیر تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز با جریان مستقیم، آزمون‌ها مجددا اخذ گردید تا اطلاعات مرحله پیگیری به‌دست آید و نتایج موردبررسی و مقایسه قرار گیرد.

در بخش اول تحلیل داده‌ها در این پژوهش، از نرم‌افزار SPSS برای توصیف مشخصات جمعیت شناختی پاسخ‌دهندگان در قالب جداول توزیع فراوانی و نمودارها استفاده‌شده است. در بخش دوم که مربوط به آمار استنباطی است، جهت تجزیه‌وتحلیل اطلاعات از تحلیل کوواریانس با

1. Neurostim

اندازه‌گیری‌های مکرر[1] استفاده شد. همچنین داده‌های جمع‌آوری‌شده از طریق نرم‌افزار SPSS29 مورد تجزیه‌وتحلیل آماری قرار گرفت.

یافته‌های پژوهش

در این پژوهش ۱۷ نفر زن و ۱۳ نفر مرد میانگین سنی ۲۵/۶ سال انحراف استاندارد ۲/۹۶ سال در دو گروه آزمایش و شم قرار گرفتند. قبل از جهت تجزیه‌وتحلیل اطلاعات، پیش‌فرض‌های آزمون کوواریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر، شامل بررسی توزیع داده‌ها، همگنی شیب‌های رگرسیون و همگنی واریانس‌ها برای هریک از فرضیات پژوهش بررسی شد و مشاهده گردید که براساس نسبت چولگی و کشیدگی، توزیع داده‌ها نرمال است و شرط همگنی شیب‌های رگرسیون و وایرانس‌ها نیز برقرار است (sig>۰.۰۵). بعد از برقراری این پیش‌فرض‌ها، نتایج آزمون تبیین گردید.

جدول ۱. نتایج تحلیل کوواریانس با اندازه‌گیری مکرر گروه‌های آزمایش و شم- انعطاف‌پذیری

	مجموع مجذورات	درجه آزادی	میانگین مجذورات	F	سطح معنی‌داری
تعداد طبقات	۸۷/۵۹۶	۱	۸۷/۵۹۶	۷۱/۸۹۴	۰/۰۰۰
خطای درجا ماندگی	۴۹۰/۸۷۴	۱	۴۹۰/۸۷۴	۶۵/۲۲۴	۰/۰۰۰
پاسخ درست	۴۳۷/۵۰۲	۱	۴۳۷/۵۰۲	۱۰/۶۹۷	۰/۰۰۳
سایر خطاها	۶۹۱/۹۲۲	۱	۶۹۱/۹۲۲	۱۸/۴۲۷	۰/۰۰۰
پاسخ سطح مفهومی	۵۲/۸۹۸	۱	۵۸/۸۹۸	۸/۸۸۵	۰/۰۰۶

براساس جدول ۱ تفاوت بین گروه‌های آزمایش و شم در «انعطاف‌پذیری» کاملاً معنادار است (sig<۰/۰۵).

جدول ۲. لامبدای ویلکز - تحلیل کوواریانس چندمتغیری پس آزمایش و پیگیری - انعطاف‌پذیری

	مقدار	F	فرضیه df	خطای استاندارد	سطح معنی‌داری	اندازه اثر
تعداد طبقات	۰/۹۲۹	۲/۰۴۸	۱	۲۷	۰/۱۶۴	۰/۰۷۱
خطای درجا ماندگی	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱	۲۷	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰
پاسخ درست	۰/۹۵۳	۱/۳۴۲	۱	۲۷	۰/۲۵۷	۰/۰۴۷
سایر خطاها	۰/۷۴۹	۹/۰۳۳	۱	۲۷	۰/۰۰۶	۰/۲۵۱
پاسخ سطح مفهومی	۰/۹۸۶	۰/۳۸۶	۱	۲۷	۰/۵۴۰	۰/۰۱۴

براساس جدول ۲ سطح معناداری همه‌ی متغیرها به‌جز «سایر خطاها» بزرگ‌تر از ۰/۰۵ است؛ بنابراین تفاوت بین مراحل پس آزمایش و پیگیری فقط برای این متغیر از «انعطاف‌پذیری» معنادار است.

جدول ۳. آزمون تعدیل بونفرونی - مقایسه‌های زوجی- انعطاف‌پذیری

		میانگین تفاوت‌ها	خطای استاندارد	سطح معناداری
تعداد طبقات	آزمایش/شم	۲/۵۰۴	۰/۲۹۵	۰/۰۰۰
	پس‌آزمون/پیگیری	۰/۱۰۰	۰/۰۷۰	۰/۱۶۴
خطای درجا ماندگی	آزمایش/شم	-۵/۸۱۳	۰/۷۲۰	۰/۰۰۰
	پس‌آزمون/پیگیری	۰/۰۰۱	۰/۱۶۱	۱/۰۰۰
پاسخ درست	آزمایش/شم	۶/۰۶۷	۱/۸۵۵	۰/۰۰۳
	پس‌آزمون/پیگیری	۰/۵۶۷	۰/۴۸۹	۰/۲۵۷
سایر خطاها	آزمایش/شم	-۶/۸۹۵	۱/۶۰۶	۰/۰۰۰

1. Repeated Measure ANCOVA

پاسخ سطح مفهومی	پس‌آزمون/پیگیری	−۱/۵۰۰	۰/۴۹۹	۰/۰۰۶
	آزمایش/شم	۱/۸۷۹	۰/۶۳۰	۰/۰۰۶
	پس‌آزمون/پیگیری	−۰/۰۶۷	۰/۱۰۷	۰/۵۴۰

براساس جدول ۳ تفاوت بین گروه‌های آزمایش و شم طی مراحل پژوهش در «انعطاف‌پذیری» کاملاً معنادار است.

جدول ٤. نتایج تحلیل کوواریانس با اندازه‌گیری مکرر گروه‌های آزمایش و شم- حل مسئله

	مجموع مجذورات	درجه آزادی	میانگین مجذورات	F	سطح معنی‌داری
زمان کل	۱۴۲۷۰۹۹/۹۴۰	۱	۱۴۲۷۰۹۹/۹۴۰	۶۶/۰۵۵	۰/۰۰۰
زمان تأخیر	۲۵۹۶۳۲/۷۹۸	۱	۲۵۹۶۳۲/۷۹۸	۲۴/۸۴۳	۰/۰۰۰
زمان آزمایش	۴۸۵۵۲۲/۹۷۵	۱	۴۸۵۵۲۲/۹۷۵	۸۶/۵۴۲	۰/۰۰۰
نتیجه کلی	۳۱۰/۹۱۷	۱	۳۱۰/۹۱۷	۲۸/۹۹۶	۰/۰۰۰
خطا	۱۶۶۲/۸۳۱	۱	۱۶۶۲/۸۳۱	۲۶/۴۴۰	۰/۰۰۰

براسـاس جدول ۴ تفاوت بین گروه‌های آزمایش و شـم در «حل مسئله» کاملاً معنادار است (sig<۰/۰۵).

جدول ٥. لامبدای ویلکز - تحلیل کوواریانس چندمتغیری پس آزمایش و پیگیری - حل مسئله

	مقدار	F	فرضیه df	خطای استاندارد	سطح معنی‌داری	اندازه اثر
زمان کل	۰/۹۷۱	۰/۸۰۲	۱	۲۷	۰/۳۷۹	۰/۰۲۹
زمان تأخیر	۰/۹۹۸	۰/۰۵۳	۱	۲۷	۰/۸۱۹	۰/۰۰۲
زمان آزمایش	۰/۹۶۸	۰/۸۹۶	۱	۲۷	۰/۳۵۲	۰/۰۳۲
نتیجه کلی	۰/۹۳۵	۱/۸۸۳	۱	۲۷	۰/۱۸۱	۰/۰۶۵
خطا	۰/۹۳۸	۱/۷۷۸	۱	۲۷	۰/۱۹۳	۰/۰۶۲

براساس اطلاعات جدول ۵ تفاوت بین مراحل پس آزمایش و پیگیری در «حل مسئله» معنادار نیست (sig<۰/۰۵).

جدول ٦. آزمون تعدیل بونفرونی - مقایسه‌های زوجی- حل مسئله

		میانگین تفاوت‌ها	خطای استاندارد	سطح معناداری
زمان کل	آزمایش.شم	−۳۱۸/۳۵۵	۳۹/۱۷۱	۰/۰۰۰
	پس‌آزمون.پیگیری	−۷/۰۰۰	۷/۸۱۸	۰/۳۷۹
زمان تأخیر	آزمایش.شم	−۱۳۵/۶۲۵	۲۷/۱۱	۰/۰۰۰
	پس‌آزمون.پیگیری	۰/۸۳۳	۳/۶۰۷	۰/۸۱۹
زمان آزمایش	آزمایش.شم	−۱۸۴/۲۶۸	۱۹/۸۰۸	۰/۰۰۰
	پس‌آزمون.پیگیری	−۴/۵۰۰	۴/۷۵۴	۰/۳۵۲
نتیجه کلی	آزمایش.شم	۴/۵۵۷	۰/۸۴۶	۰/۰۰۱
	پس‌آزمون.پیگیری	۰/۲۶۷	۰/۱۹۴	۰/۱۸۱
خطا	آزمایش.شم	−۱۰/۵۳۰	۲/۰۴۸	۰/۰۰۰
	پس‌آزمون.پیگیری	−۰/۶۰۰	۰/۴۵۰	۰/۱۹۳

براساس جدول ۶ تفاوت بین گروه‌های آزمایش و شم طی مراحل پژوهش در «حل مسئله» کاملاً معنادار است.

جدول ۷. نتایج تحلیل کوواریانس با اندازه‌گیری مکرر گروه‌های آزمایش و شم- سرعت پردازش

	مجموع مجذورات	درجه آزادی	میانگین مجذورات	F	سطح معنی‌داری
دیداری ساده	۳۷۲۰۲۱/۷۳۴	۱	۳۷۲/۲۱/۷۳۴	۵۵/۱۴۰	۰/۰۰۰
شنیداری ساده	۶۱۸۷۸۵/۳۳۸	۱	۶۱۸۷۸۵/۳۳۸	۹۱/۰۰۱	۰/۰۰۰
دیداری تشخیصی	۶۱۵۸۰۲/۹۱۰	۱	۶۱۵۸۰۲/۹۱۰	۵۰/۲۵۸	۰/۰۰۰
شنیداری تشخیصی	۶۵۸۸۱۳/۱۲۵	۱	۶۵۸۸۱۳/۱۲۵	۹۶/۱۵۴	۰/۰۰۰
دیداری انتخابی	۵۴۰۰۸۷/۶۴۹	۱	۵۴۰۰۸۷/۶۴۹	۷۴/۳۳۰	۰/۰۰۰
شنیداری انتخابی	۱۰۰۴۱۲۵/۹۸۷	۱	۱۰۰۴۱۲۵/۹۸۷	۶۶/۳۵۴	۰/۰۰۰

براساس جدول ۷ تفاوت بین گروه‌های آزمایش و شم در «سرعت پردازش» کاملاً معنادار است (sig<۰/۰۵).

جدول ۸. لامبدای ویلکز - تحلیل کوواریانس چندمتغیری پس آزمایش و پیگیری سرعت پردازش

	مقدار	F	فرضیه df	خطای استاندارد	سطح معنی‌داری	اندازه اثر
دیداری ساده	۰/۹۰۷	۲/۷۵۷	۱	۲۷	۰/۱۰۸	۰/۰۹۳
شنیداری ساده	۰/۸۹۹	۳/۰۲۶	۱	۲۷	۰/۰۹۳	۰/۱۰۱
دیداری تشخیصی	۰/۹۸۸	۰/۳۳۸	۱	۲۷	۰/۵۶۶	۰/۱۲
شنیداری تشخیصی	۰/۹۷۹	۰/۵۷۴	۱	۲۷	۰/۴۵۵	۰/۰۲۱
دیداری انتخابی	۰/۹۷۴	۰/۷۱۵	۱	۲۷	۰/۴۰۵	۰/۰۲۶
شنیداری انتخابی	۰/۹۲۴	۲/۲۱۵	۱	۲۷	۰/۱۴۸	۰/۰۷۶

براساس جدول ۸ تفاوت بین مراحل پس آزمایش و پیگیری در «سرعت پردازش» معنادار نیست (sig<۰/۰۵).

جدول ۹. آزمون تعدیل بونفرونی - مقایسه‌های زوجی- سرعت پردازش (آزمون زمان واکنش)

		میانگین تفاوت‌ها	خطای استاندارد	سطح معناداری
دیداری ساده	آزمایش.شم	-۱۵۷/۴۹۹	۲۱/۲۱۰	۰/۰۰۰
	پس‌آزمون.پیگیری	۵/۷۳۳	۳/۴۵۳	۰/۱۰۸
شنیداری ساده	آزمایش.شم	-۲۰۳/۴۰۸	۲۱/۳۲۳	۰/۰۰۰
	پس‌آزمون.پیگیری	-۴/۸۳۳	۲/۷۷۹	۰/۰۹۳
دیداری تشخیصی	آزمایش.شم	-۲۰۲/۹۲۱	۲۸/۶۲۴	۰/۰۰۰
	پس‌آزمون.پیگیری	-۱/۱۶۷	۲/۰۰۶	۰/۵۶۶
شنیداری تشخیصی	آزمایش.شم	-۲۰۹/۶۱۵	۲۱/۳۷۷	۰/۰۰۰
	پس‌آزمون.پیگیری	-۰/۹۶۷	۱/۲۷۶	۰/۴۵۵
دیداری انتخابی	آزمایش.شم	-۱۸۹/۸۸۷	۲۲/۰۲۵	۰/۰۰۰
	پس‌آزمون.پیگیری	۲/۷۳۳	۳/۲۳۲	۰/۴۰۵
شنیداری انتخابی	آزمایش.شم	-۲۶۰/۲۷۰	۳۱/۹۵۲	۰/۰۰۰
	پس‌آزمون.پیگیری	-۷/۹۶۷	۵/۳۵۳	۰/۱۴۸

براساس جدول ۹ تفاوت بین گروه‌های آزمایش و شم طی مراحل پژوهش در «سرعت پردازش» کاملاً معنادار است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

باتوجه به یافته‌های پژوهش، تحریک فراجمجمه‌ای مغز با جریان مستقیم (TDCS) بر انعطاف‌پذیری شناختی دانشجویان تأثیر می‌گذارد. نتایج بیانگر ثبات این تأثیرگذاری در مرحله پیگیری آزمایش است. قابل‌ذکر است تحریک ناحیه F3 توسط دستگاه tDCS باعث بهبود عملکرد در تمامی مؤلفه‌های مربوط به متغیر انعطاف‌پذیری شناختی می‌شود؛ بنابراین tDCS موجب بالا رفتن مؤلفه‌های تعداد طبقات، پاسخ درست، پاسخ سطح مفهومی و پایین آمدن خطای در جاماندگی، پاسخ نادرست، کل کوشش، سایر خطاها، زمان اجرای آزمون و تعداد کوشش برای تکمیل الگوی اول و شکست در حفظ یک توالی شده است. نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش‌های سلیمانی و کاظمی منیر (۱۳۹۹)، نوذری، نجاتی و میرزاییان (۱۳۹۸)، روح‌الامینی، سلیمانی و واقف (۱۳۹۷) مهرولی، آتش‌افروز و امیدیان (۱۴۰۲) همسو است. به‌علاوه نتایج پژوهش صالحی نژاد، وثوق و نجاتی (۲۰۲۲) نشان‌دهنده افزایش انعطاف‌پذیری شناختی بر اثر تحریک tdcs همین ناحیه DLPFC بود. در تمامی این پژوهش‌ها تغییراتی مثبت در مؤلفه انعطاف‌پذیری شناختی در اثر تحریک الکتریکی ناحیه DLPFCو نقطهF3 ثبت‌شده است که نشان‌دهنده نقش این ناحیه در مؤلفه‌های شناختی است. در پژوهشی که اورکی، فرجی، زارع و نجاتی (۱۳۹۶) بر روی افراد مبتلا به ADHD انجام دادند نقطه F3 را آند و نقطه F4 را کاتد در نظر گرفتند و تغییری در متغیر انعطاف‌پذیری شناختی پدید نیامد که نتیجه ناهم‌سو با پژوهش حاضر است اما با تغییر محل قرارگیری کاتد نقطهF3 آند وFP2 کاتد انعطاف‌پذیری شناختی افزایش یافت که همسو با نتایج حاضر است. در پژوهش روح‌الامینی، سلیمانی و واقف (۱۳۹۷)، تأثیر آزمون tDCS بر توجه انتخابی و انعطاف‌پذیری شناختی دانش‌آموزان با اختلال یادگیری خاص خواندن مورد بررسی قرار گرفت. ازمون با ۲۰ دانش‌آموز انجام شد و نتایج نشان داد که tDCS تأثیر مثبتی بر توجه و انعطاف‌پذیری آن‌ها دارد. همچنین در مطالعه مهرولی، آتش‌افروز و امیدیان (۱۴۰۲) بر اساس پژوهشی که بر روی کودکان دارای اختلال یادگیری خاص به‌منظور مقایسه تأثیر دو روش تحریک الکتریکی فرا جمجمه‌ای با جریان مستقیم و برنامه یکپارچگی حسی – حرکتی بر انعطاف‌پذیری شناختی انجام دادند به این نتیجه دست یافتند که روش tDCS تأثیر بیشتری بر افزایش انعطاف‌پذیری شناختی دارد. با توجه به نتایج پژوهش‌هایی که تبیین شد و نتایجی که از پژوهش حاضر به‌دست‌آمده است می‌توان اظهار داشت که زمانی که ناحیه F3 مغز را با استفاده از دستگاه tDCS تحریک می‌شود جریان خونی و میزان گلوکز و اکسیژن‌رسانی به این ناحیه افزایش می‌یابد و همچنین افزایش سطح فعالیت نورون‌های مغز و به دنبال آن افزایش میزان انتقال‌دهنده‌های عصبی همچون دوپامین را در پی دارد که این موضوع موجب بهبود عملکردهای شناختی مانند انعطاف‌پذیری شناختی می‌شود مداخله‌ای که در این پژوهش انجام گرفت و بهبود مؤلفه‌ها در آزمون دسته‌بندی کارت‌های ویسکانسین در پس‌آزمون مشاهده گردید که گویای تأثیر مثبت روش تحریک الکتریکی فرا جمجمه‌ای با جریان مستقیم (tDCS) بر انعطاف‌پذیری شناختی است.

تحریک فراجمجمه‌ای مغز با جریان مستقیم (TDCS) بر حل مسئله نیز تأثیر می‌گذارد. نتایج بیانگر ثبات این تأثیرگذاری در مرحله پیگیری آزمایش است. این نتایج نشان می‌دهد که تحریک الکتریکی فرا جمجمه‌ای با جریان مستقیم نقطهF3 موجب عملکرد بهتر در آزمون برج لندن و درنتیجه بهبود قدرت حل مسئله در افراد می‌شود. نیومن و همکاران (۲۰۰۳) در پژوهشی از آزمودنی‌ها در حین انجام آزمون برج لندن تصاویر fMRI گرفتند و دریافتند که در زمان انجام تکلیف قسمت قشر پیشانی فعالیت دارد. بنابراین زمانی که نقطهF3 تحریک می‌شود باعث افزایش خون‌رسانی و اکسیژن و گلوکز در این ناحیه شده و نوروترانسمیترها نیز افزایش می‌یابند که این منجر به تسهیل فرایندهای یادگیری می‌شود. نتایج این پژوهش

همسو با پژوهش‌های آقاجانی، طاهری فرد و علیزاده (۱۳۹۷) سالوی، بیمن، بیکسون و همکاران (۲۰۲۰) واله، باجو و آریزا (۲۰۲۰) دی برناردی لوفت، زیوگا، بانیسی و همکاران (۲۰۱۷) دبارناتس و همکاران (۲۰۱۹) میگراد، کلزالتو و هامل (۲۰۱۵) داکری، ونگ، بیربامر و همکاران (۲۰۰۹) است و با نتایج تحقیق اورکی، فرجی، زارع و نجاتی (۱۳۹۶) ناهم‌سو است. در پژوهشی که نجاتی، صالحی نژاد و نیچه (۲۰۱۸) انجام دادند تأثیر بیشتر ناحیه lDLPFC به‌عنوان آند وrOFC به‌عنوان کاتد در حل مسئله و برنامه‌ریزی را نشان دادند. متوکی، سلاو و لاویدور (۲۰۱۲) نیز در پژوهش خود تأثیر تحریک آنودال tDCS روی پیشانی چپ و مؤلفه‌های کنترل شناختی حل مسئله را بررسی کردند. نتایج نشان داد tDCS به‌طور قابل‌توجهی تشخیص راه‌حل برای مشکلات دشوار را افزایش می‌دهد. به‌علاوه میگراد، کلزاتو و هامل (۲۰۱۵) به بررسی تأثیر tDCS بر تفکر خلاق که برای حل مسئله به کار می‌رود پرداختند. در جلساتی شرکت‌کنندگان تحت تحریک دوطرفه DLPFC و ppc قرار گرفتند که نتایج نشان‌دهنده‌ی افزایش توانایی حل مسئله از طریق تحریک tDCS بر DLPFC چپ و ppc است. درنتیجه بر اساس پژوهش‌هایی که انجام پذیرفته و نتایجی که حاصل شد با تحریک ناحیه F3 مغز تحریک‌پذیری نورون‌های این قسمت بالا رفته و قدرت حل مسئله که مربوط به همین ناحیه می‌شود را به‌طور قابل‌توجهی افزایش داده است.

درنهایت باتوجه به یافته‌های پژوهش تأثیر تحریک فراجمجمه‌ای مغز با جریان مستقیم (TDCS) بر سرعت پردازش دانشجویان تأیید می‌گردد. نتایج بیانگر ثبات این تأثیرگذاری در مرحله پیگیری آزمایش است. این یافته‌ها همسو با پژوهش‌های انجام‌گرفته توسط جهانی، ناصحی، تهرانی دوست و همکاران (۱۴۰۱) فیض امامی‌پور، حسن ابهریان و همکاران (۲۰۲۰) سلیمانی و کاظمی منیر (۱۳۹۹) نوذری، نجاتی و میرزاییان (۱۳۹۸) واقف، قراملکی و سلطانی (۱۳۹۸) نرماشیری، اشرفی، رستمی و همکاران (۱۳۹۶) زمانی و دوستان (۱۳۹۶) است. بوگیو و همکاران (۲۰۰۷) تأثیر tDCS بر کاهش زمان واکنش افراد مبتلا به سکته را در پژوهش خود نشان دادند. بررسی‌های زمانی و دوستان (۱۳۹۶) نیز این تأثیرات در افراد ورزشکار بررسی کردند و به نتیجه مثبتی دست پیدا کردند براساس پژوهش هوروث و همکاران (۲۰۱۶) tDCS تأثیری بر زمان واکنش ندارد که ناهم‌سو با نتایج به‌دست‌آمده است. طبق تحقیقات تحریک آندی tDCS باعث افزایش جریان خون مغز در ناحیه تحریک‌شده RCBF و همچنین افزایش نوروترانسمیترهایی مانند دوپامین سرتونین و استیل کولین و کاهش گابا می‌شود. درواقع این تحریک موجب کاهش بازداری درون قشری و افزایش تسهیل قشری می‌شود. همچنین تحریک ناحیه DLPFC باعث افزایش فعالیت سلول‌های مغزی و آزاد شدن فاکتورهای نوتروفیک می‌شود که نوتروفین‌ها شبکه‌های سیناپسی و درنتیجه اتصالات مغزی را افزایش می‌دهند که موجب افزایش سرعت پردازش و عملکردهای شناختی می‌شود.

در پژوهش‌های آتی، می‌توان به موارد زیر توجه ویژه داشت: بررسی تأثیرات طولانی‌مدت tDCS بر انعطاف‌پذیری شناختی، حل مسئله و سرعت پردازش مغز در دانشجویان و افراد دیگر، به منظور بررسی نحوه پایداری و تأثیرات بلندمدت تحریک. ارزیابی تأثیر ترکیب تحریک جریان مستقیم درون‌جمجمه‌ای با روش‌های دیگر تحریک مغزی یا مداخلات شناختی دیگر بر عملکرد شناختی، به منظور بررسی اثرات تقویت‌کننده یا تضعیف‌کننده این ترکیب‌ها.

منابع

آقاجانی، س.، طاهری فرد، م.، علیزاده گورادال، ج. (۱۳۹۷). اثربخشی تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای (tDCS) بر بهبود کارکردهای شناختی و حل مسئله در دانش آموزان. *مجله روانشناسی مدرسه*، زمستان ۱۳۹۷.

اورکی، م.، فرجی، ر.، زارع، ح.، نجاتی، و. (۱۳۹۶). اثربخشی تحریک فراجمجمه‌ای با استفاده از جریان مستقیم الکتریکی (tDCS) بر کارکردهای اجرایی بازماندگان جنگی مبتلا به اختلال استرس پس آسیبی. (PTSD) *فصلنامه علمی پژوهشی عصب روانشناسی*، زمستان ۱۳۹۶.

تیمورپور، سپیده و محمودی، حدیثه (۱۳۹۴). *مؤلفه‌ها و مراحل اجرای برنامه فلسفی برای کودکان*، سومین کنفرانس بین‌المللی روانشناسی و علوم اجتماعی، تهران.

جهانی، م.، ناصحی، م.، تهرانی دوست، م.، حریرچیان، م.ح.، زرین‌دست، م.ر. (۱۴۰۱). بررسی اثربخشی آندی تحریک الکتریکی مستقیم قشری مغز (tDCS) بر عملکرد توجه پایدار و سرعت واکنش در بیماران مبتلا به مولتیپل اسکلروزیس.(MS)

روح‌الامینی، ش.، سلیمانی، م.، واقف، ل. (۱۳۹۷). اثربخشی تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز (tDCS) بر توجه انتخابی و انعطاف‌پذیری شناختی دانش آموزان با اختلال خاص خواندن. *مجله ناتوانی‌های یادگیری*، پاییز ۱۳۹۷.

زمانی، گ.، دوستان، م. (۱۳۹۶). تأثیر تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز بر حافظه کاری و زمان واکنش دختران ورزشکار. *فصلنامه علمی پژوهشی عصب روانشناسی*.

سلیمانی، م.، کاظمی منیر، ن. (۱۳۹۹). اثربخشی تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز بر افزایش انعطاف‌پذیری شناختی و سرعت پردازش کدکان با نارسایی توجه/افزون کنشی. *فصلنامه روانشناسی تربیتی*، پاییز ۱۳۹۹.

مهرولی، ف.، آتش‌افروز، ع.، امیدیان، م. (۱۴۰۲). مقایسه اثربخشی تحریک فراجمجمه‌ای مغز با استفاده از جریان الکتریکی مستقیم و برنامه یکپارچگی حسی حرکتی بر کارکردهای اجرایی (انعطاف‌پذیری شناختی و بازداری پاسخ) دانش آموزان دارای اختلال یادگیری خاص.

نرماشیری، ع. اشرفی، ح. رستمی،ز. باقری فر، ع. همتی راد، گ. (۱۳۹۶). اثربخشی تحریک الکتریکی فراقشری مغز بر بهبود سرعت پردازش شناختی توجه در افراد مبتلا به بیش فعالی و نقص توجه.

نوذری، م.، نجاتی، و.، میرزاییان، ب. (۱۳۹۸). اثربخشی تحریک الکتریکی مغز بر کارکردهای اجرایی و کاهش علائم افراد دچار اختلال افسردگی.

واقف، ل.، بافنده قراملکی، ح.، سلطانی مارگانی، ف. (۱۳۹۸). اثربخشی تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز بر زمان واکنش و تصمیم‌گیری پرخطر در افراد مبتلا به افسردگی.

Boggio, P. S., Nunes, A., Rigonatti, S. P., Nitsche, M. A., Pascual-leone, A., & Fregni, F. (2007). Repeated sessions of noninvasive brain DC stimulation is associated with motor function improvement in stroke patients. *Restor Neurol Neurosci*, 25(2), 123-129

Chen, L., Qu, L., & Hong, R. Y. (2022). Pathways Linking the Big Five to Psychological Distress: Exploring the Mediating Roles of Stress Mindset and Coping Flexibility. *Journal of Clinical Medicine*, 11(9). https://doi.org/10.3390/jcm11092272

Debarnot, U., Schlatter S., Guillot, A. (2019). Early stimulation of the left posterior parietal cortex promotes representation change in problem solving. *ScientificeReports*, 16523

Di Bernardi Luft, C., Zioga, I., Banissy, M. J., & Bhattacharya, J. (2017). Relaxing learned constraints through cathodal tDCS on the left dorsolateral prefrontal cortex. *Scientific Reports*, 7(1), 1–8. https://doi.org/10.1038/s41598-017-03022-2

Dockery, C. A., Hueckel-Weng, R., Birbaumer, N., & Plewnia, C. (2009). Enhancement of planning ability by transcranial direct current stimulation. *Journal of Neuroscience*, 29(22), 7271–7277. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0065-09.2009

Feiz, P., Emamipour, S., Hassani-Abharian, P., & ... (2020). Comparing Cup Stacking and Transcranial Direct Current Stimulation on Working Memory and Processing Speed. … *Journal of Learning & …*, 3(11), 61–68.https://doi.org/10.22034/iepa.2021.247006.1206

Horvath, J. C., Caeter, O, Forte, JD. (2016). No significant effect of transcranial direct current stimulation found on simple motor reaction time comparing 15 different stimulation protocols. *Neuropsychologia*, volume 91

Ibbotson, P. (2023). The Development of Executive Function: Mechanisms of Change and Functional Pressures. *Journal of Cognition and Development*, 24(2), 172–190.

Salvi, C., Beeman, M., Bikson, M., McKinley, R., & Grafman, J. (2020). TDCS to the right anterior temporal lobe facilitates insight problem-solving. *Scientific reports*, 10(1), 946.

Salehinejad, M. A., Vosough, Y., & Nejati, V. (2022). The Impact of Bilateral Anodal tDCS over Left and Right DLPFC on Executive Functions in Children with ADHD. *Brain Sciences*, 12(8). https://doi.org/10.3390/brainsci12081098

Soyata, A. Z., Aksu, S., Woods, A. J., İşçen, P., Saçar, K. T., & Karamürsel, S. (2019). Effect of transcranial direct current stimulation on decision making and cognitive flexibility in gambling disorder. *European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience*, 269(3), 275–284. https://doi.org/10.1007/s00406-018-0948-5

Strand, R., Kovacic, Z., Funtowicz, S., Benini, L. & Jesus, A. (2022). Exiting the Anthropocene? Exploring fundamental change in our relationship with nature. *European Enviroment Agency, Briefing*, (24), (2022).

Valle, TM., Bajo, MT., Gomez-Ariza, CJ. (2020). Cathodal transcranial direct current stimulation over the right dorsolateral prefrontal cortex cancels out the cost of selective retrieval on subsequent analogical reasoning. *Neuropsychologia*, Volume 141. 107431

Wheatley, G.H. (1984). Problem solving in School Mathematics (MEPS Technical Report 84.01). West Lafayette, IN: Purdue University, *School Mathematics and Science Center*.

Wong, C. H. Y., Liu, J., Lee, T. M. C., Tao, J., Wong, A. W. K., Chau, B. K. H., Chen, L., & Chan, C. C. H. (2021). https://doi.org/10.1080/15248372.2022.2160719

Metuki, N., Sela, T., Lavidor, M. (2012). Enhancing cognitive control components of insight problems solving by anodal tDCS of the left dorsolateral prefrontal cortex. *Brain Stimulation*. Volume 5, Issue 2, April 2012.

Mezzacappa, E. (2016). Executive function. The Curated Reference Collection in Neuroscience and Biobehavioral Psychology, 18(3), 142–150. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809324-5.06001-6

Monsoon, A. D., Preece, D. A., & Becerra, R. (2022). Control and acceptance beliefs about emotions: associations with psychological distress and the mediating role of emotion regulation flexibility. *Australian Psychologist*, 57(4), 236–248. https://doi.org/10.1080/00050067.2022.2089542

Nejati. V ،Salehinejad. M.A ،nitche. M ، (2018) ،Interaction of the left Dorsolateral Prefrontal Cortex and Right Orbitofrontal cortex in Hot and Cold Executive Function: Evidence from Transcranial Direct Current Stimulation ،*Neruroscience* t369 109-123

Newman, SD., Carpenter, PA., Varma, S. Just, MA., (2003). Frontal and parietal participation in problem solving in the tower of london : fMRI and computational modeling of planning and high-level perception. *Neuropsycologia*. Volume 41, Issue 12.

Reinhart, R. M., Cosman, J. D., Fukuda, K., & Woodman, G. F. (2017). Using transcranial direct-current stimulation (tDCS) to understand cognitive processing. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *79*, 3-23

NeuroImage Fronto-cerebellar connectivity mediating cognitive processing speed ☆. *NeuroImage*, 226(July 2020), 117556. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.117556

Zmigrod, SH., Colzato, LS., Hommel, B. (2015). Stimulating Creativity: Modulation of Convergent and Divergent Thinking by Transcranial direct Current Stimulation, *Creativity Research Journal*, 27:4, 353-360, DOI: 10.1080/10400419.2015.1087280

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی