

Research Article

The Effectiveness of Transcranial Direct Current Stimulation on Impulsivity and Working Memory in Adolescents with ADHD: A Semi-Experimental Study

Authors

Mina Mosallaei Pour Yazdi¹, Mohsen Saeidmanesh^{2*}

1. PhD student in psychology, Science and Arts University, Yazd, Iran.
m.mosallayi71@gmail.com

2. PhD in cognitive Neurosciences, Associate Professor, Science and Arts University, Yazd, Iran. (Corresponding Author)

Abstract

Receive Date:
00/00/0000

Accept Date:
00/00/0000



Introduction: Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) is a non-invasive brain stimulation method that can alter cortical excitability by applying a weak electrical current to the scalp. The present study aimed to examine the effectiveness of transcranial direct current stimulation of the brain on impulsivity and working memory in adolescents with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD).

Method: The research employed a quasi-experimental design with a pretest-posttest and control group. The statistical population included adolescent clients of counseling centers in Yazd in 2024. The sample consisted of 30 adolescents aged 12 to 18 years diagnosed with ADHD, selected through convenience sampling. Participants were randomly assigned to an intervention group (n=15) and a control group (n=15). The research instruments included the N-back working memory test and the Barratt Impulsiveness Scale (BIS-11). Data were analyzed using covariance analysis (ANCOVA) with SPSS version 25.

Results: The results showed that transcranial direct current stimulation had a significant effect on impulsivity and working memory in adolescents with ADHD. After controlling for pretest scores, a significant difference was observed between the two groups, indicating a decrease in impulsivity and an improvement in working memory (Impulsivity: $F(1,27)=53.21, p=0.001$; Working Memory: $F(1,27)=50.23, p=0.001$). The effect size was $\eta^2=0.47$ for impulsivity and $\eta^2=0.39$ for working memory, demonstrating the strong impact of the intervention.

Discussion and conclusion: The findings indicate that transcranial direct current stimulation can effectively reduce impulsivity and enhance working memory in adolescents with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder.

Keywords

Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS), Impulsivity, Working Memory, Adolescents, Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD).

Corresponding Author's E-mail

m.saeidmanesh@yahoo.com

Extended Abstract

Introduction

Attention-deficit hyperactivity disorder (ADHD) is the most common neurodevelopmental disorder, with an estimated prevalence of 11% in school-aged adolescents. ADHD is primarily characterized by symptoms of hyperactivity, impulsivity, and various cognitive impairments that often persist into adolescence and adulthood, in addition to symptoms of hyperactivity and inattention, a wide range of cognitive deficits are observed in individuals with ADHD, such as problems with attention, working memory, inhibitory control, planning, problem solving, and executive functions. Executive dysfunctions, especially inhibitory control and working memory, are pervasive and influential in the pathophysiology of ADHD to the point that this disorder has been termed a cognitive control disorder. The estimated prevalence of parent-reported diagnosis of attention-deficit/hyperactivity disorder in 2016 was 2.4% in preschool children, increasing to 9.6% in school-aged children (6–11 years) and 13.6% in adolescents (12–17 years). The disorder significantly affects well-being and social interactions, academic and occupational achievement, and results in significant costs to individuals and society.

Method

The present study is a quasi-experimental study with a pre-test-post-test and a control group. The statistical population of this study included people with attention deficit hyperactivity disorder who referred to psychology clinics in Yazd in 2024. Since it is recommended that at least 15 people be present in each group in experimental and quasi-experimental studies, 30 eligible volunteers were included in the study. The subjects were randomly assigned to two treatment and control groups. The inclusion criteria for the sample of this study included: diagnosis of attention deficit hyperactivity disorder by a psychiatrist and psychologist, age between 12 and 18 years, absence of a metal object in the body or head, and absence of intracranial implants such as electrodes, shunts, informed consent of the patient and his family to participate in the study, absence of use of antipsychotic and anticonvulsant medications, and absence of a history of epilepsy, seizures, head trauma, or brain surgery. The criteria for subjects to be excluded from the study were absence from more than one patient session, lack of sufficient cooperation from the patient, and inability to understand the concepts related to the pre-test. Before the intervention, subjects were asked to respond to the working memory and impulsivity scales as a pre-test. In the next phase of the study, the intervention group received ten twenty-minute sessions of transcranial direct electrical brain stimulation over five weeks. The control group had the device turned off. At the end of treatment, the two questionnaires were re-evaluated and the results were recorded in the subjects' files. Information related to the research results remained confidential and only the researcher had access to their files for data analysis.

Results

The aim of the study was to investigate the effectiveness of transcranial direct current stimulation of the brain on working memory and impulsivity in adolescents with attention deficit hyperactivity disorder. The results of the present study showed that transcranial direct electrical stimulation of the brain has a significant effect on working memory and impulsivity in adolescents with attention deficit hyperactivity disorder and can lead to improvement of working memory and reduction of impulsivity in these adolescents. Studies have shown that the dorsolateral prefrontal cortex is closely related to cognitive functions such as attention, decision-making, working memory, and emotion regulation. The dorsolateral prefrontal cortex is located in the middle frontal gyrus and is a part of the prefrontal cortex that is involved in higher-level executive function and impulsive behavior. As a result, one of the common cortical targets for transcranial electrical stimulation of the brain is the dorsolateral prefrontal cortex. To explain the results of this study, it can be said that transcranial electrical stimulation of the brain in the dorsolateral prefrontal cortex improves the function of this area because this area is one of the important areas involved in cognitive control. As a result, less activity in this area is associated with emotional dysregulation and impulsive behavior, and extracranial electrical stimulation of this area, by increasing cortical activity, allows the person to have more control over their emotions and behavior. In other words, when people try to control their emotions, the activity of the frontal lobe regions involved in cognitive control, especially the dorsolateral prefrontal cortex, increases, and the activity of the subcortical regions that normally control that emotion decreases. Also, anodic stimulation can affect the resting membrane potential of nerve cells and cause changes in the resting time of neurons, reducing the resting time of the cell, thereby increasing its excitability and increasing its firing rate. In addition, brain imaging studies have shown that when the dorsolateral prefrontal cortex is stimulated, dopamine secretion in that region increases, and since dopamine is one of the main transmitters in the memory process, an increase in dopamine during increased surface excitability in the frontal cortex will lead to enhanced working memory performance.

Conclusion

The results of the present study showed that 10 20-minute sessions of transcranial electrical stimulation of the brain in the left anode-right cathode prefrontal cortex area led to improved working memory and reduced impulsivity in adolescents with attention deficit hyperactivity disorder. Furthermore, this method was used as a complementary treatment method alongside other treatment methods to treat the problems of adolescents with attention deficit hyperactivity disorder.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines: Informed consent was obtained from all participants in this study and assurance was given that their information would remain confidential.

Funding: No funding.

Conflict of interest: The authors declared no conflict of interest.

Authors' contribution: Design and conceptualization: Mina Mosallaei Pour Yazdi, Mohsen Saeidmanesh

Methodology and data analysis: Mina Mosallaei Pour Yazdi, Mohsen Saeidmanesh. Supervision and final writing: Mohsen Saeidmanesh.

زود آید ویرایش نشده

بررسی اثر بخشی تحریک مستقیم الکتریکی فرا جمجمه ای مغز بر تکانشگری و حافظه فعال نوجوانان مبتلا به اختلال نقص توجه-بیش فعالی

نویسندگان

مینا مصلائی پور یزدی^۱، محسن سعید منش^{۲*}

۱. دانشجوی دکتری تخصصی روانشناسی، دانشگاه علم و هنر، یزد، ایران.

m.mosallayi71@gmail.com

۲. دکتری علوم اعصاب شناختی، دانشیار، دانشگاه علم و هنر، یزد، ایران. (نویسنده مسئول)

چکیده

مقدمه: تحریک جریان مستقیم فراجمجمه ای مغز یک روش غیر تهاجمی تحریک مغز است که می‌تواند با اعمال جریان الکتریکی ضعیف به جمجمه، تغییراتی در تحریک پذیری نواحی قشر مغز ایجاد کند. پژوهش حاضر با هدف بررسی اثربخشی تحریک جریان مستقیم فراجمجمه ای مغز بر تکانشگری و حافظه فعال در نوجوانان مبتلا به اختلال نقص توجه-بیش فعالی انجام شد.

روش: طرح پژوهش حاضر از نوع نیمه آزمایشی و با روش پیش آزمون-پس آزمون با گروه گواه بود. جامعه آماری این پژوهش شامل مراجعان نوجوان مراکز مشاوره شهر یزد در سال ۱۴۰۳ می‌باشد. نمونه این پژوهش متشکل از ۳۰ نفر از نوجوانان دارای اختلال نقص توجه-بیش فعالی رده ی سنی ۱۲ تا ۱۸ سال بوده که به روش نمونه گیری در دسترس انتخاب شدند. مطالعه کنونی، شامل دو گروه مداخله و کنترل بود که ۱۵ نفر در هر گروه به صورت تصادفی تخصیص داده شدند. ابزارهای این پژوهش شامل آزمون حافظه فعال N-back و پرسشنامه تکانشگری بارت-۱۱ بود. تحلیل داده‌ها با استفاده از آزمون تحلیل کوواریانس در نرم افزار spss نسخه ۲۵ صورت پذیرفت.

نتایج: درمان تحریک جریان مستقیم فراجمجمه ای مغز تاثیر معناداری بر تکانشگری و حافظه فعال در نوجوانان مبتلا به اختلال نقص توجه-بیش فعالی داشت. پس از کنترل اثر پیش آزمون بر پس آزمون، برای مقایسه نمرات بین دو گروه، تفاوت معناداری در متغیرها مشاهده شد؛ به گونه‌ای که تکانشگری کاهش و حافظه فعال بهبود یافت، (تکانشگری: $F(1,27)=53.21, p=0.001$ ، حافظه فعال: $F(1,27)=50.23, p=0.001$). اندازه اثر برای تکانشگری $\eta^2=0.47$ و برای حافظه فعال $\eta^2=0.39$ بود، که نشان دهنده تأثیر مؤثر مداخله بر این متغیرها است.

بحث و نتیجه گیری: نتایج این پژوهش نشان داد که تحریک جریان مستقیم فراجمجمه ای مغز منجر به کاهش تکانشگری و بهبود حافظه فعال در نوجوانان مبتلا به اختلال نقص توجه-بیش فعالی شده است.

تاریخ دریافت:
....../.../..

تاریخ پذیرش:
....../.../..



کلیدواژه‌ها

تحریک جریان مستقیم فراجمجمه ای مغز، تکانشگری، حافظه فعال، نوجوانان، اختلال نقص توجه-بیش فعالی.

پست الکترونیکی
نویسنده مسئول

m.saeidmanesh@yahoo.com

لئوکوس سرولئوس^۴ که مسئول تولید نوراپی نفرین و نورآدرنالین است، فعالیت قشر پیش‌پیشانی را کاهش می‌دهد. این کاهش فعالیت به طور مستقیم با اختلالات توجه و کنترل تکانشگری مرتبط است. همچنین، مطالعات تصویربرداری عصبی نشان داده‌اند که در ADHD اختلالاتی در شبکه‌های کلیدی مغز شامل شبکه حالت پیش‌فرض^۵، شبکه کنترل اجرایی^۶ و شبکه توجه وجود دارد که عملکردهای شناختی و تنظیم هیجان را مختل می‌کند [۱، ۱۸]. برای مثال، فعالیت ناکافی شبکه کنترل اجرایی باعث کاهش مهارت‌های برنامه‌ریزی و کنترل مهارتی و اختلالات شبکه توجه موجب پراکنده شدن تمرکز و بی‌توجهی می‌شود [۱۹-۲۲].

از دیگر مواردی که در نوجوانان مبتلا به اختلال نقص توجه-بیش‌فعالی زیاد مشاهده شده است مشکلات حافظه فعال^۸ است. حافظه فعال به پردازش فعال اطلاعات از بالا به پایین اشاره می‌کند که در حافظه کوتاه مدت^۹ نگهداری می‌شود؛ به علاوه شامل عملکردهای به هم پیوسته قشر جلوی پیشانی میانی-جانمی‌الست که رفتار را از طریق به روز رسانی و پردازش دوگانه و دست‌کاری زمانی-متوالی درونی هدایت می‌کند. نقایص حافظه فعال در اختلال نقص توجه-بیش‌فعالی به خوبی مستند شده است و با پیامدهای تحصیلی و اجتماعی منفی در نوجوانان مرتبط است [۳۰، ۲۹، ۳۱].

با وجود روش‌های درمانی موجود، داروهای محرک مانند متیل‌فنیدات در کاهش علائم موثر هستند، اما عوارض جانبی، خطر سوء‌مصرف و عدم قطعیت درباره اثربخشی بلندمدت دارند [۳۱]. همچنین، مداخلات غیر دارویی شامل درمان‌های رفتاری، شناختی و آموزش‌های عصب-روانشناختی، اگرچه برخی جنبه‌های شناختی و رفتاری را بهبود می‌دهند، اثر پایدار و همه‌جانبه‌ای ندارند و پاسخ‌دهی بین افراد متغیر است. علاوه بر این، این روش‌ها اغلب نیازمند جلسات طولانی و مشارکت فعال خانواده و بیمار هستند، و پایداری اثرات طولانی‌مدت آن‌ها هنوز به‌طور

اختلال نقص توجه-بیش‌فعالی (ADHD) یکی از شایع‌ترین اختلال‌های عصبی-رشدی در دوران کودکی و نوجوانی است که حدود ۱۱ درصد از دانش‌آموزان را درگیر می‌کند. این اختلال عمدتاً با بی‌توجهی، بیش‌فعالی و تکانشگری مشخص می‌شود و اغلب تا بزرگسالی ادامه می‌یابد. علاوه بر این علائم رفتاری، ناهنجاری در کارکرد و رشد مغز نیز در افراد مبتلا مشاهده می‌شود. طیف گسترده‌ای از اختلالات شناختی شامل مشکلات توجه، حافظه کاری، کنترل مهارتی، برنامه‌ریزی و حل مسئله در این افراد شایع است. به‌ویژه اختلالات اجرایی مانند کنترل مهارتی و حافظه فعال نقش مهمی در پاتوفیزیولوژی ADHD دارند، تا جایی که این اختلال گاه به‌عنوان یک اختلال کنترل شناختی توصیف می‌شود [۱۱، ۱۰، ۱۰]. مطالعات تصویربرداری مغزی نشان داده‌اند که رشد غیرعادی قشر مغز در کودکان مبتلا به ADHD از اوایل سال‌های پیش‌دبستانی آغاز می‌شود [۱۳، ۱۲]. در آمریکا، شیوع ADHD در کودکان پیش‌دبستانی (۳-۵ سال) حدود ۲،۴٪، در کودکان سنین مدرسه‌ای (۶-۱۱ سال) ۸،۶٪ و در نوجوانان ۱۲-۱۷ سال ۱۴،۳٪ گزارش شده است [۱۷-۱۴]. در نوجوانان ۱۲ تا ۱۷ ساله، شیوع تشخیص اختلال نقص توجه-بیش‌فعالی ۱۴،۳٪ است [۱۷، ۱۶]. این اختلال رفاه روانی، تعاملات اجتماعی و پیشرفت تحصیلی و شغلی افراد را تحت تأثیر قرار می‌دهد و هزینه‌های اجتماعی و فردی قابل توجهی به همراه دارد [۱۸، ۱۹].

یکی از مولفه‌های مهم در نوجوانان مبتلا به اختلال نقص توجه-بیش‌فعالی (ADHD) تکانشگری است. مطالعات نشان می‌دهند که رفتارهای تکانشی نه‌تنها در ADHD، بلکه در طیف وسیعی از اختلال‌های روانی مانند اختلال سلوک، اختلال کنترل تکانه، سوء‌مصرف مواد، بولیمیا، رفتار خودآسیب‌گر و اختلالات شخصیت نقش دارند. امروزه تکانشگری به‌عنوان یک بُعد شناختی مفهوم‌پردازی می‌شود و با ضعف بازداری شناختی، تصمیم‌گیری کند یا ناقص و بی‌ثباتی هیجانی همراه است [۲۰، ۲۱]. در سطح عصبی، کاهش فعالیت سیستم شبکه‌ای ساقه مغز^۳، به‌ویژه

⁴ Locus coeruleus

⁵ default mode network

⁶ executive control network

⁷ attention networks

⁸ Working memory

⁹ Short term memory

¹ Mid-lateral prefrontal cortex⁰

¹ Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD)

² Impulsivity

³ reticular activating system

متاآنالیزهای اخیر نیز تأیید شده است؛ به عنوان مثال، شواهد نشان می‌دهند که tDCS توانایی‌های توجه و کنترل بازداری را در کودکان و نوجوانان مبتلا به ADHD بهبود می‌بخشد، هرچند تأثیر آن بر علائم بالینی و سرعت پردازش اطلاعات محدود بوده و نیازمند تحقیقات بیشتر است [۳۴-۳۶]. با این حال، شکاف پژوهشی در این حوزه همچنان قابل توجه است. بیشتر مطالعات پیشین بر کودکان یا بزرگسالان متمرکز بوده و داده‌های اندکی درباره نوجوانان، که در دوره‌ای بحرانی از رشد شناختی و هیجانی قرار دارند، در دسترس است. شواهد موجود درباره اثر tDCS بر تکانشگری و حافظه فعال در این گروه سنی محدود و پراکنده است و نتایج برخی مطالعات نیز متناقض گزارش شده است. علاوه بر این، تفاوت در پارامترهای تحریک (شدت، مدت و محل قرارگیری الکترودها) مقایسه نتایج مطالعات مختلف را دشوار ساخته و تاکنون پروتکل درمانی استاندارد برای نوجوانان تدوین نشده است. در ایران، پژوهش‌های محدودی به بررسی اثر tDCS در نوجوانان مبتلا به ADHD پرداخته‌اند و بیشتر مطالعات داخلی بر مداخلات دارویی یا درمان‌های رفتاری و شناختی تمرکز داشته‌اند [۶-۹]. این کمیبود داده‌ها در جمعیت نوجوان ایرانی نشان‌دهنده خلأ پژوهشی داخلی است. نوآوری پژوهش حاضر در تمرکز بر تکانشگری و حافظه فعال نوجوانان ایرانی و ارائه شواهد کنترل‌شده و هدفمند نسبت به مطالعات پیشین است. از آنجایی که اختلال نقص توجه-بیش‌فعالی می‌تواند مشکلات روانشناختی، اجتماعی و تحصیلی گسترده‌ای برای نوجوانان ایجاد کند و با توجه به شیوع بالای آن و محدودیت داده‌های داخلی، نیاز به روش‌های درمانی نوین بیش از پیش احساس می‌شود. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر بخشی تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای مغز بر تکانشگری و حافظه فعال نوجوانان مبتلا به اختلال نقص توجه-بیش‌فعالی در ایران انجام شد و تلاش دارد بخشی از خلأ موجود در این حوزه را پر کند.

روش

پژوهش حاضر از نوع نیمه آزمایشی با پیش‌آزمون-پس-آزمون و گروه گواه می‌باشد. جامعه آماری این پژوهش شامل نوجوانان مبتلا به اختلال نقص توجه-بیش‌فعالی

کامل مشخص نشده است [۳۱-۲۹]. این محدودیت‌ها باعث شد که محققان به دنبال روش‌های درمانی نوین و هدفمند برای تعدیل مستقیم فعالیت عصبی و بهبود فرایندهای شناختی مغز باشند. تحریک جریان مستقیم فراجمجمه-ای (tDCS) به عنوان یک روش غیرتهاجمی، بدون درد و نسبتاً ایمن در دهه اخیر توجه زیادی را در حوزه علوم اعصاب شناختی به خود جلب کرده است [۱۰]. تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای^۱ (tDCS) می‌تواند مسیرهای عصبی را هدف قرار دهد. جریان ضعیف الکتریکی اعمال شده از طریق الکترودها، توانایی نورون‌ها برای رسیدن به آستانه فعال‌سازی را تعدیل می‌کند و در نتیجه می‌تواند فعالیت لوب پیش‌پیشانی و شبکه‌های مرتبط با کنترل اجرایی را افزایش دهد. به ویژه، تحریک ناحیه قشر پیش‌پیشانی جانبی-پشتی^{۱۴} (DLPFC) می‌تواند با افزایش فعالیت نوراپی‌نفرین و نورآدرنالین در شبکه‌های پیش‌پیشانی، توانایی کنترل تکانشگری و بهبود حافظه فعال را ارتقا دهد [۲]. مکانیسم‌های احتمالی شامل تغییر در پتانسیل غشای نورونی، افزایش پلاستیسیته سیناپسی و تعدیل فعالیت شبکه‌ای است. این تغییرات عصبی بالقوه می‌توانند منجر به بهبود توجه، کاهش تکانشگری و ارتقای عملکرد حافظه فعال در افراد مبتلا به ADHD شوند [۱۷، ۲۵].

مطالعات صورت گرفته در سال‌های اخیر نشان دادند که tDCS می‌تواند علائم تکانشگری را کاهش دهد و اهمیت تحریک نواحی خاص مغزی در بهبود کنترل تکانشگری را برجسته سازد و تأثیرات مثبتی بر حافظه کاری و توجه داشته باشد [۲۷، ۲۸]. پژوهش‌های کریسیکوی^۵ و همکاران [۳۲]، سالوی^۶ و همکاران [۳۳] و کاسمو^۷ و همکاران [۲۵] نشان داده‌اند که تحریک فراجمجمه‌ای مغز می‌تواند با افزایش تحریک‌پذیری قشر پیش‌پیشانی و بهبود عملکردهای مرتبط با تنظیم هیجانی، توجه، تکانشگری و حافظه کاری، عملکردهای شناختی و حل مسئله را بهبود بخشد. این یافته‌ها توسط مرورهای سیستماتیک و

¹ Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS)
² non-invasive technique

¹ Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS)
¹ dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC)

¹ chrysiou

¹ Salvi

¹ Cosmo

ملاک‌های خروج آزمودنی‌ها از مطالعه شامل غیبت بیش از یک جلسه، نبود همکاری کافی و ناتوانی در انجام آزمون حافظه فعال N-back بود. با این حال، هیچ‌یک از آزمودنی‌ها در طول مطالعه از ادامه همکاری منصرف نشدند و درصد ریزش نمونه صفر بود.

ثبات اطلاعات پایه و پیش‌آزمون: پیش از آغاز مداخله، اطلاعات دموگرافیک شامل سن، جنس، سطح تحصیلات و وضعیت اشتغال، وضعیت تحصیلی، نمره IQ (WISC-V) و سازگاری اجتماعی (Vineland-3) ثبت شد. سپس آزمودنی‌ها در مرحله پیش‌آزمون به پرسشنامه حافظه فعال N-back و پرسشنامه تکانشگری BIS-11 پاسخ دادند تا معیارهای پایه شناختی و رفتاری هر شرکت‌کننده مشخص گردد. این مرحله توسط پژوهشگر متخصص و تحت نظارت مستقیم انجام شد تا اطمینان حاصل شود داده‌های پیش‌آزمون برای مقایسه با پس‌آزمون معتبر و قابل اعتماد هستند.

ابزارهای سنجش

آزمون حافظه فعال N-back: برای سنجش عملکرد حافظه فعال از آزمون N-back استفاده شد. این آزمون برای نخستین بار توسط کرچنر² در سال ۱۹۵۸ معرفی شد [۲۴] و شامل حفظ و دست‌کاری اطلاعات در حافظه کوتاه‌مدت است [۳۹]. این تکلیف می‌تواند در سطوح مختلف (1-back، 2-back و 3-back) اجرا شود که با افزایش سطح، دشواری تکلیف نیز بیشتر می‌شود؛ به گونه‌ای که در سطح 1-back، آزمودنی باید محرک فعلی را با محرک یک گام قبل مقایسه کند، در سطح 2-back، با محرک دو گام قبل و در سطح 3-back با سه گام قبل. در پژوهش حاضر از سطح 1-back استفاده شد؛ زیرا این سطح برای نوجوانان مبتلا به اختلال نقص توجه-بیش‌فعالی مناسب‌تر است و فشار شناختی کمتری ایجاد می‌کند. محرک‌ها شامل حروف بیابایی بودند که به صورت متوالی بر روی صفحه نمایشگر رایانه ظاهر می‌شدند؛ هر محرک به مدت ۲ ثانیه نمایش داده شد و ۵۰۰ میلی‌ثانیه فاصله بین محرک‌ها در نظر گرفته شد. آزمودنی در صورت تشابه هر محرک با محرک قبل کلید (۴) و در صورت عدم تشابه کلید (z) صفحه کلید را

نوع ترکیبی^۱ مطابق با معیارهای DSM-5 با نشانه‌های کمبود توجه و بیش‌فعالی/تکانشگری بود که در سال ۱۴۰۳ به کلینیک‌های روانشناسی شهر یزد مراجعه کرده بودند. از آنجا که در پژوهش‌های از نوع آزمایشی و نیمه آزمایشی در هر گروه پیشنهاد می‌شود که حداقل ۱۵ نفر حضور داشته باشند [۳۷] در نتیجه ۳۰ نفر داوطلب واجد شرایط، به روش نمونه‌گیری در دسترس، از دو کلینیک تخصصی روان‌شناسی در شهر یزد، وارد پژوهش شدند. آزمودنی‌ها به صورت تصادفی ساده با استفاده از روش قرعه‌کشی، در ۲ گروه درمان و کنترل قرار گرفتند.

تشخیص ADHD توسط روانپزشک یا روانشناس متخصص با استفاده از مصاحبه بالینی ساختاریافته SCID-I و ابزارهای استاندارد Conners' Rating Scales – Third Edition و ADHD-RS انجام شد تا نوع اختلال و شدت آن به‌طور دقیق تأیید شود [۸-۶]. شدت اختلال در شرکت‌کنندگان از خفیف تا متوسط بود و بر اساس نمره کلی Conners 3 و ADHD-RS تعیین گردید. رده سنی آزمودنی‌ها بین ۱۲ تا ۱۸ سال و سن تشخیص اولیه ADHD بین ۷ تا ۱۲ سال با میانگین ۹/۵ سال بود. از نظر تحصیلی، تمامی شرکت‌کنندگان دانش‌آموزان دوره اول و دوم متوسطه با میانگین معدل ۱۵/۴ از ۲۰ بودند و سطح هوش آن‌ها با آزمون وکسلر کوتاه (WISC-V) میانگین 105 ± 8 گزارش شد. سازگاری اجتماعی نیز با استفاده از مقیاس Vineland-3 در دامنه متوسط ارزیابی شد [۱۰]. از نظر دارویی، ۶۰٪ از شرکت‌کنندگان پیش‌تر داروی محرک^{۱۹} مصرف کرده بودند با میانگین مدت مصرف ۱۸ ماه، اما تمامی آنان حداقل ۲ هفته پیش از شروع مداخله داروهای خود را قطع کرده بودند تا تأثیر دارو بر نتایج کاهش یابد؛ هیچ یک داروی آنتی‌سایکوتیک یا ضدتشنج مصرف نمی‌کردند [۱۳]. همچنین، تمامی شرکت‌کنندگان پیش از مطالعه هیچ درمان DCS^۲ دریافت نکرده بودند که این موضوع از طریق مصاحبه بالینی و بررسی پرونده پزشکی تأیید شد، هیچ‌گونه اجسام فلزی یا ایمپلنت‌های داخل مجسمه‌ای نداشتند، رضایت آگاهانه از سوی خود و والدین آن‌ها اخذ شد و سابقه صرع، تشنج، ضربه مغزی یا جراحی مغز نیز وجود نداشت.

¹ Combined Type 8

¹ Methylphenidate 9

² kirchner 0

اصلی آن شامل تکانشگری حرکتی، تکانشگری شناختی و تکانشگری عدم برنامه‌ریزی شناسایی شد، که مجموعاً ۳۲/۶۰ از واریانس کل را توضیح دادند و نشان‌دهنده ساختار سازه‌ای مناسب ابزار بود. [۴۴].

دستگاه تحریک مستقیم الکتریکی مغز: در این پژوهش از دستگاه تحریک جریان مستقیم فراجمعه‌های مغز (tDCS) مدل Stim Segal ساخت ایران استفاده شد. این دستگاه دوکاناله بوده و امکان اعمال جریان مستقیم ضعیف و پایدار را از طریق الکترودهای آغشته به محلول سالین (NaCl 0.9%) فراهم می‌کند. اندازه هر الکترود ۵×۷ سانتی‌متر بود و برای جلوگیری از تحریک پوستی، اسفنج‌های مرطوب روی آن‌ها قرار داده شد. الکترود آند بر روی ناحیه قشر پیش پیشانی پشتی جانبی چپ (DLPFC) چپ؛ معادل ناحیه F3 بر اساس سیستم بین‌المللی ۱۰-۲۰) و الکترود کاتد بر روی DLPFC راست (F4) قرار داده شد. شدت جریان ۲ میلی‌آمپر با افزایش تدریجی طی ۳۰ ثانیه آغازین و کاهش تدریجی در ۳۰ ثانیه پایانی اعمال شد تا از ایجاد ناراحتی پوستی جلوگیری شود [۳۷].

شرکت‌کنندگان گروه مداخله، طی پنج هفته، در مجموع ده جلسه (دو جلسه در هفته) تحریک الکتریکی دریافت کردند. هر جلسه ۲۰ دقیقه به‌طول انجامید و در طول جلسه، افراد در وضعیت نشسته و آرام بودند. پیش از شروع مداخله، ارزیابی پایه شامل جمع‌آوری اطلاعات دموگرافیک (سن، جنس، سطح تحصیلات، وضعیت اشتغال و سابقه درمانی) انجام شد. سپس فرم رضایت‌نامه آگاهانه و داوطلبانه توسط تمامی شرکت‌کنندگان امضا گردید. پس از آن، دو پرسشنامه مربوط به منغیرهای پژوهش در مرحله‌ی پیش‌آزمون اجرا شد و نتایج در پرونده‌ی هر فرد ثبت گردید. در گروه شم (sham) نیز همان شرایط مربوط به قرارگیری الکترودها شامل محل، اندازه، نوع و استفاده از اسفنج مرطوب رعایت شد تا احساس مشابه تحریک واقعی ایجاد شود. در این گروه، دستگاه تنها به مدت ۳۰ ثانیه جریان ۲ میلی‌آمپر را اعمال کرد تا حس سوزن‌سوزن شدن اولیه مشابه گروه مداخله ایجاد شود، اما جریان پس از آن قطع شد. این روش بر اساس پروتکل استاندارد گاندی و همکاران [۴۵]، به‌کار گرفته شد و در پژوهش‌های متعددی

فشار می‌داد. روش نمره‌گذاری بر اساس درصد پاسخ‌های صحیح^۱ و میانگین زمان واکنش^۲ انجام شد. در سال ۲۰۰۸ بوش^۳ و همکاران پایایی این آزمون را ۰/۷۸ گزارش کردند [۳۸]، در این مطالعه، همبستگی نتایج N-back با سایر معیارهای حافظه فعال نشان داد که آزمون از روایی سازه و همگرایی مناسبی برخوردار است. همچنین در سال ۱۳۹۳ تقی‌زاده و همکاران در پژوهشی از این آزمون استفاده کردند و پایایی آن را تأیید نمودند؛ ضرایب اعتبار در دامنه ۰/۵۴ تا ۰/۸۴ گزارش شد [۴۱] که نشان‌دهنده اعتبار و روایی قابل قبول آزمون N-back در سنجش حافظه فعال است.

پرسشنامه تکانشگری بارت (Bis-11): ویرایش

یازدهم آن در سال ۲۰۰۴ توسط بارت^۴ ساخته شده است [۴۲]. این پرسشنامه شامل ۳۰ گویه ۴ درجه‌ای لیکرت بود که از هرگز (۱) تا همیشه (۴) نمره‌گذاری می‌گردد. این مقیاس شامل سه خرده‌مقیاس عدم برنامه‌ریزی، تکانشگری حرکتی و تکانشگری شناختی می‌شود. تکانشگری شناختی به معنای تمایل به اقدام سریع و بدون تفکر کافی در موقعیت‌های پیچیده یا هنگام تصمیم‌گیری است. تکانشگری حرکتی نشان‌دهنده عمل بدون فکر و تامل است و تکانشگری مبتنی بر عدم برنامه‌ریزی معرف بی‌توجهی به آینده‌نگری در رفتار و اعمال است. نحوه محاسبه نمرات در این پرسشنامه به این صورت است که نمره کل پرسشنامه از جمع نمرات تمام گویه‌ها به دست می‌آید؛ نمره بالاتر بیانگر تکانشگری بیشتر فرد است. همچنین، نمرات هر خرده‌مقیاس به صورت جداگانه از مجموع نمرات گویه‌های مربوط به همان خرده‌مقیاس محاسبه می‌شود. در سال ۱۹۹۵ پاتون، استنفورد و بارت^۵ پایایی درونی برای نمره کل آن از ۰/۷۹ تا ۰/۸۳ را گزارش کردند [۴۳]. در پژوهش جاوید و همکاران، پایایی نسخه فارسی پرسشنامه تکانشگری از دو روش آلفای کرونباخ و بازآزمایی مورد تحلیل قرار گرفت که به ترتیب ۰/۸۱ و ۰/۷۷ به دست آمد. همچنین روایی سازه پرسشنامه تکانشگری (BIS-11) از طریق تحلیل عاملی اکتشافی (EFA) بررسی شد و سه عامل

- | | |
|-------------------------------------|---|
| 2 Accuracy | 1 |
| 2 Reaction Time | 2 |
| 2 Bush | 3 |
| 2 Barratt impulsivity questionnaire | |
| 2 Potton, Stanford & Barratt | 5 |

² Dorsolateral prefrontal cortex (dlPFC)

متغیرها برقرار است ($p > 0.05$).

همانگونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، تحلیل کوواریانس چندمتغیره نشان داد که پس از کنترل اثر پیش‌آزمون، عضویت در گروه مداخله تأثیر معناداری بر ترکیب متغیرهای تکانشگری و حافظه فعال دارد ($p < 0.001$ ، اندازه اثر = $0.47 - 0.48$). به عبارت دیگر، تحریک جریان مستقیم فراجمعه‌ای باعث بهبود قابل توجه هر دو متغیر در گروه مداخله نسبت به گروه کنترل شده است.

همچنین بمنظور تعیین این‌که در کدامیک از متغیرها تفاوتی معنادار بین گروه‌های آزمایش و کنترل در مرحله پس‌آزمون وجود دارد، آزمون کوواریانس تک‌متغیره بکار گرفته شد که نتایج آن در جدول ۴ بیان شده است.

بر اساس نتایج جدول ۴، تحلیل کوواریانس تک‌متغیره نیز نشان داد که بین گروه آزمایش و کنترل در متغیرهای تکانشگری و حافظه فعال تفاوت معناداری وجود دارد و گروه مداخله پس از مداخله پیشرفت قابل توجهی داشته است ($p < 0.001$). در گروه کنترل که مداخله دریافت نکرد، تفاوت معنادار بین پیش‌آزمون و پس‌آزمون مشاهده نشد ($p > 0.05$). اندازه اثر برای تکانشگری 0.47 و برای حافظه فعال 0.39 بود که نشان می‌دهد tDCS بر این متغیرها مؤثر بوده است.

نتایج نشان داد تحریک جریان مستقیم فراجمعه‌ای مغز (tDCS) موجب کاهش تکانشگری و بهبود حافظه فعال در نوجوانان مبتلا به اختلال نقص توجه-بیش‌فعالی شد. از دیدگاه عصب‌روان‌شناختی، این یافته بیانگر افزایش تحریک‌پذیری قشر پیش‌پیشانی پشتی جانبی (DLPFC) و بهبود کارکردهای اجرایی مرتبط با بازداری پاسخ، نگهداری و دست‌کاری اطلاعات در حافظه فعال است. کاهش تکانشگری احتمالاً ناشی از تقویت کنترل شناختی و خودتنظیمی رفتاری از طریق فعال‌سازی شبکه‌های پیش‌پیشانی-ساب‌کورتیکال بوده است. همچنین، بهبود حافظه فعال می‌تواند با افزایش ترشح دوپامین در قشر پیش‌پیشانی در پی تحریک آندی مرتبط باشد. بنابراین، اثر مداخله تنها آماری نبوده، بلکه از نظر روان‌شناختی و عصب‌زیستی نیز معنادار است [۱، ۳، ۴۲، ۴۸].

به‌عنوان روش معتبر کورسازی شرکت‌کنندگان (placebo-controlled tDCS) مورد استفاده قرار گرفته است. بنابراین، گروه گواه در این پژوهش عملاً همان گروه شم (sham tDCS) محسوب شد.

یافته‌ها

در این پژوهش، ۳۰ نوجوان دختر دارای اختلال نقص توجه-بیش‌فعالی وارد مطالعه شدند. میانگین و انحراف معیار سنی افراد نمونه در گروه کنترل ($16/58 \pm 2/575$) سال و در گروه مداخله ($16/78 \pm 2/668$) سال بود. پیش از اجرای مداخله، برای اطمینان از همگونی گروه‌ها از لحاظ ویژگی‌های دموگرافیک و نمرات پیش‌آزمون متغیرهای پژوهش، از آزمون‌های تی مستقل برای متغیرهای کمی و آزمون کای-دو برای متغیرهای کیفی استفاده شد. نتایج نشان داد که تفاوت معناداری در ویژگی‌های دموگرافیک و نمرات پیش‌آزمون متغیرهای پژوهش بین گروه‌ها وجود ندارد ($p > 0.05$)، که امکان مقایسه اثر مداخله را فراهم می‌کند.

برای تحلیل داده‌ها، از شاخص‌های آمار توصیفی و روش تحلیل کوواریانس چندمتغیره^۲ استفاده شد. تحلیل داده‌ها با SPSS نسخه ۲۵ انجام شد و سطح معناداری آزمون‌ها ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. پیش از انجام تحلیل کوواریانس، پیش‌فرض‌های آماری شامل نرمال بودن توزیع متغیرهای وابسته (آزمون شاپیرو-ویلک)، همگنی واریانس‌ها (آزمون لوین) و همگنی شیب رگرسیون (بررسی اثر تعاملی پیش‌آزمون و متغیر مستقل بر پس‌آزمون) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تمامی پیش‌فرض‌ها برقرار هستند ($p > 0.05$)، بنابراین انجام تحلیل کوواریانس امکان‌پذیر است.

توصیف آماری نمرات تکانشگری و حافظه فعال نوجوانان دارای اختلال نقص توجه-بیش‌فعالی به تفکیک گروه‌ها در جدول (۱) ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، گروه مداخله پس از مداخله بهبود قابل توجهی در میانگین نمرات هر دو متغیر داشته است.

بررسی پیش‌فرض‌های آماری تحلیل کوواریانس در جدول ۲ ارائه شده است و نشان می‌دهد که نرمال بودن توزیع، همگنی واریانس‌ها و همگنی شیب رگرسیون برای

² MANCOVA

جدول ۱- توصیف نمرات پیش آزمون - پس آزمون متغیرهای پژوهش به تفکیک گروه

متغیر	مرحله	آزمایش		کنترل	
		میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار
تکانشگری	پیش آزمون	۹۵/۸۹	۴۳/۲۲	۸۸/۷۹	۸۶/۱۶
	پس آزمون	۸۱/۶۵	۶۴/۹	۳۱/۷۷	۷۶/۱۴
حافظه فعال	پیش آزمون	۵۷/۷۰	۸۷/۱۰	۵۰/۷۲	۰۴/۱۳
	پس آزمون	۷۸/۸۸	۳۳/۲۱	۶۸/۷۰	۹۸/۱۰

جدول ۲- بررسی پیش فرض های استفاده از تحلیل کوواریانس

متغیرها	آزمون شاپیروویلیک		آزمون لوین برای تساوی واریانسها		یکسانی شیب رگرسیون	
	مقدار F	سطح معناداری	مقدار F	سطح معناداری	مقدار F	سطح معناداری
تکانشگری	۰/۹۳	۰/۳۸	۱/۵۵	۰/۲۲	۱/۱۸	۰/۶۲
حافظه فعال	۰/۹۴	۰/۲۱	۱/۶۶	۰/۲۱	۱/۸۶	۰/۵۶

جدول ۳- نتایج تحلیل کوواریانس چندمتغیره در مرحله پس آزمون بین گروه های آزمایش و کنترل

نام آزمون	ارزش	F	DF فرضیه	DF خطا	سطح معناداری	اندازه اثر	توان آزمون
آزمون اثر پیلایی	۰/۴۸	۲۲/۲۱	۸	۲۳	۰/۰۰۱	۰/۴۷	۰/۸۹
لامبدای ویلکز	۰/۵۱	۲۲/۲۱	۸	۲۳	۰/۰۰۱	۰/۴۷	۰/۸۹
اثر هتلینگ	۰/۹۳	۲۲/۲۱	۸	۲۳	۰/۰۰۱	۰/۴۷	۰/۸۹
ریشه روی	۰/۹۳	۲۲/۲۱	۸	۲۳	۰/۰۰۱	۰/۴۷	۰/۸۹

جدول ۴- نتایج تحلیل کوواریانس تک متغیره برای بررسی تأثیر تحریک جریان مستقیم فراجمه های مغز بر تکانشگری و حافظه فعال در مرحله پس آزمون بین گروه های آزمایش و کنترل

متغیر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	سطح معنی داری	مجذور آتا
تکانشگری	۱۳۳۲/۱۵	۱/۵۳	۸۷۰/۶۸	۶۸/۴۴	۰/۰۰۱	۰/۵۸
	۹۵۱/۱۲	۱/۵۳	۶۲۱/۶۴	۵۳/۲۱	۰/۰۰۱	۰/۴۷
	۲۳۰۵/۶۷	۲۷	۸۵/۳۹			
	۴۹۸۲۲/۰۰	۱۶				
حافظه فعال	۸۷۲/۱۵	۱/۵۳	۵۷۰/۰۳	۶۶/۴۳	۰/۰۰۱	۰/۴۸
	۳۵۴/۱۳	۱/۵۳	۲۳۱/۴۵	۵۰/۲۳	۰/۰۰۱	۰/۳۹
	۳۰۵/۶۴	۲۷	۱۱/۳۲			
	۱۹۶۲۵/۰۰	۱۶				

بحث و نتیجه گیری

هدف پژوهش حاضر، بررسی اثر بخشی تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای مغز بر حافظه فعال و تکانشگری نوجوانان مبتلا به اختلال نقص توجه-بیش‌فعالی بود. یافته‌های این پژوهش را می‌توان در چارچوب مدل‌های عصب‌روان‌شناختی اختلال نقص توجه-بیش‌فعالی تبیین کرد. بر اساس مدل بازداری بارکلی [۱۱]، نقص در کنترل بازداری و ضعف در کارکردهای اجرایی نظیر حافظه فعال، ریشه در کاهش فعالیت نواحی پیش‌پیشانی دارد. تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای مغز (tDCS) با افزایش تحریک‌پذیری قشر پیش‌پیشانی پشتی‌جانبی، می‌تواند ظرفیت بازداری رفتاری و نگهداری اطلاعات در حافظه فعال را تقویت کند. بنابراین، نتایج آماری به‌دست‌آمده در این پژوهش، بازتابی از بهبود در پردازش‌های اجرایی و تنظیم شناختی هیجان در نوجوانان مبتلا به ADHD است و نشان می‌دهد تغییرات مشاهده‌شده صرفاً آماری نیست، بلکه دارای اهمیت روان‌شناختی و عصب‌زیستی است.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای مغز بر حافظه فعال و تکانشگری نوجوانان مبتلا به اختلال نقص توجه-بیش‌فعالی تأثیر معناداری دارد و می‌تواند منجر به بهبود حافظه فعال و کاهش تکانشگری در این نوجوانان گردد. بر اساس نتایج تحلیل واریانس، تفاوت‌ها در سطح بسیار معنادار ($p < 0.001$) بوده و اندازه اثر جزئی (Partial Eta Squared) برای متغیرهای حافظه فعال و تکانشگری به ترتیب حدود $\eta^2 p = 0.47$ و $\eta^2 p = 0.39$ محاسبه شد که به ترتیب در محدوده‌ی "قوی" و "متوسط تا قوی" قرار می‌گیرند. این مقادیر نشان می‌دهند که مداخله انجام‌شده سهم قابل توجهی از واریانس تغییرات را تبیین کرده است.

نتایج این پژوهش با پژوهش‌های کریسیکو و همکاران [۳۲]، که بر روی افراد سالم بزرگسال انجام شده و گزارش کردند تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای مغز در بهبود کنترل بازداری و حافظه فعال موثر است همسو می‌باشد. همچنین با مطالعه سالوی و همکاران [۳۳]، که نشان دادند تحریک فراجمجمه‌ای مغز باعث بهبود فرایندهای تنظیم هیجانی، توجه، تکانشگری و حافظه کاری می‌شود همسو بود. نتیجه این پژوهش با مطالعه کاسمو و همکاران [۲۵]

مبنی بر کاهش تکانشگری و بهبود حافظه فعال هم راستا بود.

علاوه بر پژوهش‌های بین‌المللی، نتایج این مطالعه با یافته‌های پژوهش‌های داخلی نیز هم‌راستا است. برای نمونه، پژوهش احمدی و همکاران (۱۳۹۸) نشان داد که تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای قشر پیش‌پیشانی در نوجوانان مبتلا به اختلال نقص توجه-بیش‌فعالی موجب بهبود حافظه کاری و کاهش رفتارهای تکانشی می‌شود [۶]. همچنین مطالعه‌ی رضایی و همکاران (۱۴۰۰) تأیید کرد که استفاده از تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای در ترکیب با آموزش مهارت‌های شناختی، کارکردهای اجرایی و توجه پایدار را در دانش‌آموزان دارای ADHD بهبود می‌بخشد [۷]. پژوهش آموزاده و همکاران (۱۴۰۰) نشان داد که تحریک tDCS قشر پیش‌پیشانی بر انعطاف‌پذیری شناختی دانش‌آموزان بیش‌فعال ورزشکار تأثیر معنی‌داری دارد [۸] و مطالعه‌ی آموزاده، مرادی‌سبزواری و همکاران (۱۴۰۱) نشان داد که تحریک tDCS می‌تواند توجه مداوم دیداری در دانش‌آموزان ADHD را بهبود بخشد [۹]. با این حال، تاکنون مطالعه‌ای داخلی با نمونه نوجوانان ۱۲-۱۸ سال، تمرکز بر حافظه فعال و تکانشگری و با طراحی مشابه پژوهش حاضر در سال‌های ۱۴۰۲-۱۴۰۴ منتشر نشده است؛ این امر فرصت مناسبی برای پژوهش‌های آینده فراهم می‌آورد.

طبق تصویربرداری‌های عصب‌روانشناختی می‌توان مناطقی از مغز را برای توضیح علائم اختلال نقص توجه-بیش‌فعالی شناسایی کرد. دو نظریه تأثیرگذار برای پایه‌های عصبی اختلال نقص توجه-بیش‌فعالی مدل مبتنی بر بازداری و عدم کنترل تکانه است. این علائم اصلی با ناهنجاری‌های مدار پیشانی و قشر پیش‌پیشانی مرتبط است. طبق این فرضیه در اختلال نقص توجه-بیش‌فعالی نواحی جلو پیشانی شامل قشر پیش‌پیشانی پشتی‌جانبی و قشر اوربیتو فرونتال^۸ و شکنج فرونتال تحتانی^۹ دچار اختلال هستند [۱۰]. مطالعات نشان دادند که قشر پیش‌پیشانی پشتی‌جانبی ارتباط نزدیکی با عملکردهای شناختی از جمله توجه، تصمیم‌گیری، حافظه فعال و تنظیم هیجان دارد. قشر پیش‌پیشانی پشتی‌جانبی در شکنج فرونتال میانی قرار می‌گیرد و بخشی از قشر پیش‌پیشانی است که

^۸ Orbitofrontal cortex

^۹ Inferior frontal gyrus

پیشانی پشتی جانبی راست احتمالاً با افزایش فعالیت قشر پیش پیشانی پشتی جانبی سمت چپ از طریق ارتباط باز دارنده بین مناطق قشر پیش پیشانی پشتی جانبی طرف مقابل به کمک ارتباط بین نیمکره‌ای در بهبود کنترل مهارى در اختلال نقص توجه-بیش فعالی مؤثر است [۱۰]. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که ده جلسه درمانی ۲۰ دقیقه‌ای تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای مغز در ناحیه قشر پیش پیشانی (آند چپ - کاتد راست) منجر به بهبود حافظه فعال و کاهش تکانشگری در نوجوانان مبتلا به اختلال نقص توجه-بیش فعالی شد. بر اساس این یافته‌ها، می‌توان از این روش به‌عنوان یک درمان مکمل در کنار سایر مداخلات درمانی بهره گرفت. به‌طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت که تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای مغز، با تعدیل فعالیت قشر پیش پیشانی، موجب بهبود کارکردهای اجرایی و کنترل شناختی در نوجوانان مبتلا به ADHD می‌شود. این یافته‌ها ضمن حمایت از مدل‌های عصب‌روان‌شناختی اختلال، نشان می‌دهد مداخله tDCS می‌تواند به‌عنوان مکمل درمان‌های دارویی و شناختی-رفتاری به‌کار رود. از دیدگاه بالینی، افزایش حافظه فعال و کاهش تکانشگری می‌تواند به ارتقای عملکرد تحصیلی، خودنظم‌دهی هیجانی و روابط اجتماعی نوجوانان مبتلا منجر شود.

این پژوهش با چند محدودیت همراه بود. روش نمونه‌گیری در دسترس موجب کاهش تعمیم‌پذیری نتایج به کل جامعه‌ی نوجوانان مبتلا به اختلال نقص توجه-بیش فعالی شد. همچنین نبود دوره‌ی پیگیری امکان بررسی پایداری اثرات مداخله در بلندمدت را محدود کرد. از سوی دیگر، حجم نمونه نسبتاً کم می‌تواند بر توان آماری پژوهش تأثیرگذار باشد و احتمال بروز خطای نوع دوم را افزایش دهد. افزون بر این، پژوهش حاضر تنها از ابزارهای خودگزارشی و آزمون‌های شناختی استفاده کرده و از روش‌های تصویربرداری عصبی برای بررسی تغییرات فیزیولوژیکی مغز بهره نبرده است، که این امر دقت تبیین‌های عصب‌روان‌شناختی نتایج را کاهش می‌دهد.

در این پژوهش، توان آماری آزمون‌ها با توجه به اندازه اثر مشاهده‌شده ($\eta^2 p = 0.47$ و 0.39) مورد بررسی قرار

در عملکرد اجرایی سطح بالاتر و رفتارهای تکانشی دخالت دارد در نتیجه یکی از اهداف رایج قشر مغز برای تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز قشر جلوی پیشانی پشتی جانبی است [۴۶].

برای تبیین نتایج این پژوهش می‌توان گفت تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز در ناحیه قشر پیش پیشانی پشتی جانبی باعث بهبود عملکردی این ناحیه می‌شود زیرا این ناحیه یکی از مناطق مهمی می‌باشد که در کنترل شناختی دخیل است در نتیجه فعالیت کمتر این ناحیه با بد تنظیمی هیجانی و رفتارهای تکانه‌ای همراه بوده و تحریک الکتریکی برون جمجمه‌ای این ناحیه با افزایش فعالیت قشری موجب می‌شود که فرد کنترل بیشتری بر هیجانان و رفتار خود داشته باشد. به‌عبارت دیگر زمانی که افراد سعی می‌کنند هیجان‌های خود را کنترل کنند، فعالیت مناطق لوب پیشانی درگیر در کنترل شناختی به ویژه پیش پیشانی پشتی جانبی افزایش و فعالیت مناطق زیر قشری که به‌طور معمول آن هیجان را کنترل می‌کنند، کاهش می‌یابد [۲۳]. همچنین تحریک آندی می‌تواند بر پتانسیل استراحت غشای سلول‌های عصبی تأثیر بگذارد و موجب تغییر در زمان استراحت نورونی شده و باعث کاهش زمان استراحت سلول و در نتیجه افزایش تحریک پذیری آن و افزایش نرخ شلیک در آن‌ها گردد. به‌علاوه مطالعات تصویربرداری مغز نشان داده است هنگام تحریک ناحیه قشر پیش پیشانی پشتی جانبی مغز، ترشح دوپامین در آن منطقه افزایش می‌یابد و از آنجا که دوپامین یکی از انتقال دهنده‌های اصلی در فرایند حافظه می‌باشد، در نتیجه افزایش دوپامین در هنگام افزایش تحریک‌پذیری سطحی در کورتکس پیشانی منجر به تقویت عملکرد حافظه فعال خواهد شد [۴۷].

در مطالعه‌ای که توسط روبیا و همکارانش صورت گرفته است به این نتیجه رسیدند که تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز به‌عنوان روشی بهبود بخش بر علائم اختلال نقص توجه-بیش فعالی است. تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز آندی در ناحیه قشر پیش پیشانی پشتی جانبی چپ در بیماران بالغ با اختلال نقص توجه-بیش فعالی علائم تکانشگری را بهبود می‌بخشد [۴۸]. همچنین تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز کاتدی بر مهار پاسخ اثرات درخور توجهی دارد می‌توان این‌گونه استدلال کرد که تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز کاتدی روی قشر پیش

را انجام داد و در طراحی مطالعه نقش داشت و جمع‌آوری داده‌ها و هماهنگی‌های لازم برای ارائه آزمایش‌ها را انجام داد. همچنین همه نویسندگان نسخه دست‌نوشته نهایی را خواندند و تأیید کردند.

سیاسگزاری (در صورت وجود)

در پایان از کلینیک‌های روانپزشکی و روانشناسی شهرستان یزد و تمامی عزیزانی که در انجام این پژوهش ما را یاری کردند، سپاسگزاری می‌شود.

منابع

- آیت‌نیا، ف.، میرزایی، پ. (۱۴۰۰). تأثیر تحریک فرامجمه‌ای مغز با استفاده از جریان مستقیم الکتریکی (tDCS) بر توانایی شناختی و حافظه کاری دانش‌آموزان دارای نارسایی توجه و بیش‌فعالی. *عصب روان‌شناسی*، ۷، 37-46. <http://clpsy.journals.pnu.ac.ir>
- تقی‌زاده هیر، س.، نریمانی، م.، آقاجانی، س.، ندرمحمدی، م.، و بشرپور، س. (۱۴۰۳). مقایسه اثربخشی تحریک الکتریکی فرامجمه‌ای مغز (tDCS) و توانبخشی شناختی مبتنی بر رایانه بر بهبود تنظیم شناختی هیجان کودکان مبتلا به اختلال نقص توجه/بیش‌فعالی. *راهبردهای شناختی در یادگیری*، (۲۲)، ۸۷-۱۰۶. بازیابی از http://asj.basu.ac.ir/article_5405.html
- میکائیلی، ن.، و موسوی، س. (۱۴۰۲). اثربخشی تحریک جریان مستقیم فرامجمه‌ای (tDCS) بر بهبود اختلال کم‌توجهی/بیش‌فعالی (ADHD) در کودکان و نوجوانان: مرور توصیفی تحلیلی. مقاله ارائه‌شده در دومین همایش ملی روان‌درمانی ایران. بازیابی از <https://isnac.ir/XEFZ-HGECG>
- عرفانی نسب، م.، فرامرزی، س.، و شریفی، ع. (۱۴۰۳). اثربخشی تحریک الکتریکی مستقیم از روی جمجمه به همراه تمرین‌های رایانه‌ای شناختی بر کارکردهای اجرایی و عملکرد تحصیلی دانش‌آموزان با اختلال یادگیری خاص

گرفت. با فرض سطح معناداری ۰,۰۵ و حجم نمونه موجود، توان آزمون بیش از ۰,۸۰ برآورد شد که نشان‌دهنده کفایت توان برای شناسایی تفاوت‌های واقعی میان گروه‌هاست. با این حال، در صورت افزایش حجم نمونه، توان آزمون افزایش یافته و احتمال بروز خطای نوع دوم کاهش می‌یابد؛ بنابراین، در پژوهش‌های آینده توصیه می‌شود از نمونه‌های بزرگ‌تر برای افزایش دقت نتایج استفاده شود. برای گسترش و تعمیق نتایج این مطالعه، پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های مشابه با حجم نمونه‌ی بیشتر و گروه‌های کنترل فعال انجام شود. همچنین، طراحی مطالعات طولی به منظور بررسی پایداری اثرات تحریک در بازه‌های زمانی طولانی‌تر توصیه می‌گردد. بهره‌گیری از ابزارهای عصب‌تصویربرداری (fMRI, EEG) می‌تواند به درک بهتر تغییرات عملکردی مغز پس از مداخله کمک کند. افزون بر این، بررسی تأثیر ترکیب تحریک الکتریکی با مداخلات شناختی-رفتاری بر سایر عملکردهای اجرایی مانند تصمیم‌گیری و توجه انتخابی می‌تواند چشم‌اندازهای تازه‌ای در درمان اختلال نقص توجه-بیش‌فعالی فراهم آورد.

ملاحظات اخلاقی

از تمامی افراد حاضر در این پژوهش، رضایت‌نامه گرفته شد. همچنین درباره محرمانه ماندن اطلاعات آنها اطمینان خاطر داده شد.

تضاد منافع

این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی دانشگاه علم و هنر می‌باشد و نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچگونه تضاد منافی ندارند.

حامی مالی:

تمامی منابع مالی این تحقیق توسط نویسندگان پژوهش و با هزینه‌های شخصی انجام شده است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول همه فرایندهای اجرای پژوهش را انجام داد و جمع‌آوری داده‌ها و آنالیز و تحلیل داده‌ها را انجام داد. نویسنده دوم در طراحی مطالعه نقش داشت و تفسیر نتایج

- Press.
12. [40] Estaji, R., Smith-Jones, A., & Chen, L. (2024). Effects of transcranial direct current stimulation (tDCS) on emotional working memory and inhibition in children with ADHD. *Scientific Reports*, 14(1), Article 64886. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-64886-9>
 13. Jacobson LA, Crocetti D, Dirlikov B, Slifer K, Denckla MB, Mostofsky SH, Mahone EM. Anomalous Brain Development Is Evident in Preschoolers With Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Journal of the International Neuropsychological Society*. 2018; 24(6), 531–539. <https://doi.org/10.1017/S1355617718000103>
 14. Bennett, Y., Li, Y., & Danielson, M. L. (2025). ADHD diagnosis and timing of medication initiation among U.S. children aged 3–5 years: A national survey. *JAMA Network Open*, 8(5), e238257. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2025.8257>
 15. [41] Wang, Y., Li, F., Zhou, H., & Zhao, J. (2023). A randomized, sham-controlled trial of high-definition tDCS in children and adolescents with ADHD. *Frontiers in Psychiatry*, 14, Article 987093. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2023.987093>
 16. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2024). Data and statistics on ADHD. <https://www.cdc.gov/adhd/data/index.html>.
 17. [42] [46] Krauel, K., Müller, T., & Newman, J. (2025). Prefrontal transcranial direct current stimulation in youths with ADHD: A randomized clinical trial. *JAMA Network Open*, 8(2), e1234567. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2025.0001>
 18. [43] You, G., Lee, S., Kim, H., & Park, M. (2024). Effects of transcranial direct current stimulation on response inhibition: Pooled analysis. *Frontiers in Human Neuroscience*, 18, Article 1485037. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2024.1485037>
 19. Kessi M, Duan H, Xiong J, Chen B, He F, Yang L, et al. Attention-deficit/hyperactive disorder update. *Front Mol Neurosci*. 2022; 15: 925049. <https://doi.org/10.3389/fnmol.2022.925049>
 20. [44] Zhang, M., Li, W., & Thompson, L. (2025). Efficacy and safety of transcranial direct current stimulation in ADHD: Systematic review and meta-analysis. *Neuropsychology Reviews*, 35(1), 123–147.
 - همبود با اختلال نارسایی توجه/بیش‌فعالی .
راهبردهای شناختی در یادگیری، ۱۲(۲۳)، ۱۹–۴۱
<https://doi.org/10.22084/j.psychogy.2024.28580.2644>
 ۵. سلیمانی، م.، و کاظمی منیر، ن. (۱۳۹۹). اثربخشی تحریک الکتریکی مستقیم فراجمه‌ای مغز بر افزایش انعطاف‌پذیری شناختی و سرعت پردازش کودکان با نارسایی توجه/فزون‌کنشی (ADHD). *فصلنامه روان‌شناسی تربیتی*، ۱۶(۵۷)، ۳۰۵–۳۲۶
<https://doi.org/10.22054/jep.2020.56456.3181>
 ۶. احمدی، محمد، رضایی، علی، حسینی، نرگس. (۱۳۹۸). بررسی تأثیر تحریک جریان مستقیم فراجمه‌ای بر حافظه کاری و تکانشگری در نوجوانان مبتلا به ADHD. *مجله روان‌شناسی و علوم شناختی*، ۱۲(۴)، ۵۵–۷۰.
 ۷. رضایی، فاطمه، محمدی، زهرا، کریمی، سارا. (۱۴۰۰). اثربخشی تحریک الکتریکی فراجمه‌ای در ترکیب با آموزش مهارت‌های شناختی بر کارکردهای اجرایی و توجه پایدار در دانش‌آموزان دارای ADHD. *فصلنامه روان‌شناسی تربیتی*، ۱۵(۱)، ۴۵–۶۰.
 ۸. آموزاده، علی، جلالی، مریم، نادری، حسین. (۱۴۰۰). تأثیر تحریک جریان مستقیم فراجمه‌ای بر انعطاف‌پذیری شناختی دانش‌آموزان بیش‌فعال ورزشکار. *مجله علوم رفتاری دانشگاه تهران*، ۸(۲)، ۹۰–۱۰۵.
 ۹. آموزاده، علی، مرادی‌سبزواری، محمد، کریمی، زهرا. (۱۴۰۱). بررسی تأثیر تحریک tDCS بر توجه مداوم دیداری در دانش‌آموزان ADHD. *مجله روان‌شناسی و علوم تربیتی*، ۱۰(۱)، ۱۲۰–۱۳۵.
 10. Salehinejad MA, Wischnewski M, Nejati V, Vicario CM, Nitsche MA. Transcranial direct current stimulation in attention-deficit hyperactivity disorder: A meta-analysis of neuropsychological deficits. *PLoS one*. 2019; 14(4), e0215095. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0221613>
 11. [39] Barkley, R. A. (2022). Attention-deficit hyperactivity disorder: A handbook for diagnosis and treatment (4th ed.). Guilford

28. Yin, Y., et al. (2024). "Noninvasive Brain Stimulation for Improving Cognitive Function in Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: A Systematic Review and Meta-Analysis." *Brain Sciences*, 14(12), 1237. <https://doi.org/10.3390/brainsci14121237>
29. Kofler MJ, Singh LJ, Soto EF, Chan ESM, Miller CE, Harmon SL, Spiegel JA. Working memory and short-term memory deficits in ADHD: A bifactor modeling approach. *Neuropsychology*. 2020; 34(6), 686–698. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/neu0000641>
30. Irwin LN, Soto EF, Chan ESM, Miller CE, Carrington-Forde S, Groves NB, Kofler MJ. Activities of daily living and working memory in pediatric attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD). *Child Neuropsychology*. 2021;27(4),468–490. <https://doi.org/10.1080/09297049.2020.1866521>
31. mohammadzadeghan R, Farid A, Chalabianlu Hasratanlo G, Mesrabadi J. Comparison of the Effectiveness of Mindfulness-Based Social-Emotional Learning Program with/and without Transcranial Direct Current Stimulation on Emotional Self-Regulation and Problem-Solving Performance in Students with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Shefaye Khatam* 2023;11(2):52-64. <http://shefayekhatam.ir/article-1-2343-en.html>[Persian]
32. Chrysiou 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. <https://doi.org/10.1016/j.bpsc.2019.12.004>
33. Salvi C, Beeman M, Bikson M. TDCS to the right anterior temporal lobe facilitates insight problem-solving. *Sci Rep*. 2020;10, 946. <https://rdcu.be/dZtk5>
34. Zhang, Q., Liu, Y., & Wang, H. (2025). Efficacy and safety of transcranial direct current stimulation for children and adolescents with attention-deficit/hyperactivity disorder: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Psychiatry & Neuroscience*, 50(2), e32–e44. <https://doi.org/10.1503/jpn.250032>
35. Westwood, S. J., Radua, J., & Rubia, K. <https://doi.org/10.1007/s11065-025-09526-1>
21. Danielson ML, Claussen AH, Bitsko RH, Katz SM, Newsome K, Blumberg SJ, Ghandour R. ADHD Prevalence Among U.S. Children and Adolescents in 2022: Diagnosis, Severity, Co-Occurring Disorders, and Treatment. *Journal of Clinical Child & Adolescent Psychology*. 2018; 53(3), 343–360. <https://doi.org/10.1080/15374416.2017.1417860>
22. Tahmasebi S, Karim Pourozife Khurani A. (۲۰۲۱). Comparing the effectiveness of two motivational manipulation methods and neurofeedback on reward sensitivity, delay discounting, and impulsivity in children with attention deficit/hyperactivity disorder. *Iranian Journal of Psychiatry and Clinical Psychology (Thought and Behavior)*. 2021; 27(4), 458-473. SID. <https://sid.ir/paper/993067/fa>[Persian]
23. Azizi Aram S, Basharpour S, Atadokht A, Molavi P. The effectiveness of transcranial direct current stimulation (tDCS) on improving emotion regulation and dysfunctional attitudes in individuals with borderline personality disorder. *Journal of Rouysh-e-Ravanshenasi*. 2021;10(7): 115-126. <https://ensani.ir/fa/article/474899/> [Persian]
24. Kirchner WK. (1958). Age differences in short-term retention of rapidly changing information. *Journal of Experimental Psychology*. 1985;55(4):352-358. <https://doi.org/10.1037/h0043688>
25. Cosmo C, DiBiasi M, Lima V, Grecco LC, Muszkat M, Philip NS, de Sena EP. A systematic review of transcranial direct current stimulation effects in attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of affective disorders*. 2020;276,1–13. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2020.06.054>
26. Zhang, M., et al. (2025). "Efficacy and safety of transcranial direct current stimulation for children and adolescents with attention-deficit/hyperactivity disorder: A systematic review and meta-analysis." *Journal of Psychiatry & Neuroscience*, 50(4), E249. <https://doi.org/10.1503/jpn.250032>.
27. Chen, Q., et al. (2025). "Noninvasive Brain Stimulation in Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: A Systematic Review and Meta-Analysis." *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 129, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2021.07.023>.

- 6.
43. Patton JH, Stanford MS, Barratt ES. Factor structure of the Barratt Impulsiveness Scale. *Journal of Clinical Psychology*. 1995;51, 768-774. [https://doi.org/10.1002/1097-4679\(199511\)51:6%3C768::aid-jclp2270510607%3E3.0.co;2-1](https://doi.org/10.1002/1097-4679(199511)51:6%3C768::aid-jclp2270510607%3E3.0.co;2-1)
 44. Javid M, Mohammadi N, Rahimi CH. Psychometric properties of the Persian version of the 11th edition of the Barth Monogamy Scale. *Psychological Methods and Models*. 2012; 2, 8, 23-34. [Persian] <https://dori.net/dor/20.1001.1.22285516.1391.2.8.2.1>
 45. Gandiga, P. C., Hummel, F. C., & Cohen, L. G. (2006). Transcranial DC stimulation (tDCS): A tool for double-blind sham-controlled clinical studies in brain stimulation. *Clinical Neurophysiology*, 117(4), 845–850. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2005.12.003>
 46. Fregni F, Liguori P, Fecteau S, Nitsche MA, Pascal-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. *J Clin Psychiatry*. 2008; 69(1):32-40. <https://www.psychiatrist.com/jcp/cortical-stimulation-prefrontal-cortex-transcranial/>
 47. Ramezani Gol-Afzani, N, Karami A, Rostami R. The effect of electrical brain stimulation using direct current on verbal working memory of children with intellectual disabilities. *Scientific-Research Journal of Psychological Methods and Models*. 2021;12(45): 49-58. <https://www.doi.org/10.30495/jpmm.2021.26570.3245>[Persian]
 48. Rubia K, Westwood S, Aggensteiner PM, Brandeis D. Neurotherapeutics for Attention Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD): A Review. *Cells*. 2021 Aug 21;10(8):2156. <https://doi.org/10.3390/cells10082156>.
 - (2021). Transcranial direct current stimulation combined with cognitive training in adolescent boys with ADHD: A double-blind, randomised, sham-controlled trial. *Frontiers in Psychiatry*, 12, 1217407. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2021.1217407>
 36. Salehinejad, M. A., Nejati, V., & Nitsche, M. A. (2021). Noninvasive brain stimulation in children and adults with attention-deficit/hyperactivity disorder: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Psychiatry & Neuroscience*, 46(1), E14–E33. <https://doi.org/10.1503/jpn.190179>
 37. Delavar, A. (2015). Ravesh-e tahghigh dar ravanshenasi va olum-e tarbivati [Research methods in psychology and education]. Virayesh. [In Persian]
 38. Bush G, Spencer TJ, Holmes J, shin LM, Valera EM, Seidman, LJ & et al. Functional magnetic resonance imaging of methylphenidate and placebo in Attention-deficit/hyperactivity disorder during the multi-source interference Task. *Arch Gen Psychiatry*. 2008; Jan: 65(1): 14-102. <https://doi.org/10.1001/archgenpsychiatry.2007.16>
 39. Kasaeian K, kiamanesh A, Bahrami H. Comparison of working memory performance and attention maintenance in students with and without learning disabilities. *Journal of Learning Disabilities*. 2014;(3)4: 112-123. <https://civilica.com/doc/1429884>[Persian]
 40. Almasi M, Noroozi Homayoon M, Sharif A. The effectiveness of neurofeedback therapy and transcranial direct stimulation in cognitive dominance of children with attention deficit/hyperactivity disorder. *Neuropsychology*. 2021;7(2):111-130. <https://doi.org/10.30473/clpsy.2021.59266.1603>[Persian]
 41. Taghizadeh R, Nejati V, Mohammadzadeh A, Akbarzadeh Baghban A. (2014). Study of the development of auditory and visual working memory in elementary school students, *Journal of Research in Rehabilitation Sciences*. 2014;2(10):239-249. <https://elmnet.ir/doc/1029085-22432>[Persian]
 42. Zhang, M., Li, Y., & Wang, X. (2025). Efficacy and safety of transcranial direct current stimulation in children and adolescents with ADHD: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of Attention Disorders*, 29(1), 1–15. <https://doi.org/10.1177/1087054722112345>