



Comparison of the effect of Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) and Transcranial Random Noise Stimulation (tRNS) combined with Cognitive training on Working Memory performance of people with Attention Deficit/Hyperactivity Disorder

Moslem Kord¹, Jalil Fathabadi^{2*}, Shahriar Gharibzadeh³, Reza Khosrowabadi⁴

¹ Ph.D. Student in Cognitive science-cognitive Psychology, Institute for Cognitive and Brain Science, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

² Associate Professor, Department of Counseling, Faculty of Education and Psychology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

³ Professor, Institute for Cognitive and Brain Science, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

⁴ Associate Professor, Institute for Cognitive and Brain Science, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Citation: Kord M, Fathabadi J, Ghatibzadeh Sh, Khosrowabadi R. Comparison of the effect of Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) and Transcranial Random Noise Stimulation (tRNS) combined with cognitive training on working memory performance of people with Attention Deficit/Hyperactivity Disorder. *Journal of Cognitive Psychology*. 2022; 10 (3):46-57. [Persian].

Keywords

Attention
Deficit/hyperactivity
Disorder, Working
memory,
Transcranial Direct
Current Stimulation,
Transcranial
Random Noise
Stimulation

Abstract

This study aimed to comparison of the effect of Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) and Transcranial Random Noise Stimulation (tRNS) combined with cognitive training on working memory performance of people with attention deficit/hyperactivity disorder. For this purpose, 45 children with attention deficit hyperactivity disorder in zahedan city were purposefully selected as the research sample. Subjects were divided into three groups: tDCS, tRNS and placebo group. Subjects in the experimental groups received 5 sessions of electrical stimulation (tDCS and tRNS) with an interval of 24 hours between each session; placebo group also received fake stimulation (non-effective). At the same time, all subjects also received cognitive rehabilitation of working memory. All subjects were evaluated before and after the stimulation and one week after the stimulation using the N-back task and the Wechsler Digit span test. The data were analyzed using repeated measures analysis of variance. The results showed that in the tDCS group, there was a significant difference in most working memory components from the pre-test stage to the follow-up ($p < 0.001$). In the tRNS group, a significant difference was found in the component of direct digit span and reverse digit span in the research stages. In the comparison between the two experimental groups, the effectiveness of the tDCS group was higher than that of the tRNS group. Also, no significant difference was found in most of the components between the tRNS and placebo groups ($p > 0.05$). Overall, the results of this study show that tDCS was more effective than tRNS in working memory and this method can be used together with other treatments to improve the working memory of children with attention deficit/hyperactivity disorder.

مقایسه اثر تحریک الکتریکی مستقیم و تحریک الکتریکی با نويز تصادفی همراه با آموزش شناختی بر عملکرد حافظه کاری افراد دارای اختلال نقص توجه/ بیش فعالی

مسلم کرد، جلیل فتح آبادی، شهریار غریب زاده، رضا خسروآبادی^۴

۱. دانشجوی دکتری علوم شناختی - روانشناسی شناختی، پژوهشکده علوم شناختی و مغز، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۲. (نویسنده مسئول) دانشیار گروه روانشناسی، دانشکده علوم تربیتی و روان‌شناسی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
j_fathabadi@sbu.ac.ir

۳. دانشیار گروه علوم شناختی، پژوهشکده علوم شناختی و مغز، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۴. دانشیار گروه علوم شناختی، پژوهشکده علوم شناختی و مغز، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

چکیده

این پژوهش با هدف مقایسه اثر تحریک الکتریکی مستقیم (tDCS) و تحریک الکتریکی با نويز تصادفی (tRNS) همراه با آموزش شناختی بر عملکرد حافظه کاری افراد دارای اختلال نقص توجه/ بیش فعالی انجام گرفت. برای این منظور تعداد ۴۵ کودک مبتلا به اختلال نقص توجه-بیش فعالی شهر زاهدان به صورت هدفمند به عنوان نمونه پژوهش انتخاب شدند. این افراد در سه گروه tDCS، tRNS و گروه گواه فعال جای‌دهی شدند. افراد گروه‌های آزمایش ۵ جلسه تحریک الکتریکی (tDCS و tRNS) با فاصله ۲۴ ساعت میان هر جلسه دریافت کردند؛ افراد گروه گواه نیز تحریک ساختگی (غیر اثرگذار) دریافت نمودند. همزمان همه افراد توانبخشی شناختی حافظه کاری نیز دریافت کردند. همه افراد قبل و بعد از تحریک و یک هفته پس از تحریک با استفاده از تکلیف ان بک و پاره تست فراخنای ارقام هوش وکسلر مورد ارزیابی قرار گرفتند. داده‌ها با استفاده از روش تحلیل واریانس اندازه‌گیری مکرر تحلیل شدند. نتایج نشان داد که در گروه tDCS در اکثر مؤلفه‌های حافظه کاری تفاوت معنی‌داری از مرحله پیش‌آزمون تا پیگیری وجود داشت ($p < 0.01$). در گروه tRNS نیز در مؤلفه فراخنای ارقام مستقیم و فراخنای ارقام معکوس در مراحل پژوهش تفاوت معنی‌داری یافت شد. در مقایسه بین دو گروه آزمایش، اثربخشی گروه tDCS بیشتر از گروه tRNS بوده است. همچنین در اکثر مؤلفه‌ها بین دو گروه tRNS و tDCS تفاوت معنی‌داری یافت نشد ($p < 0.05$). در مجموع نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که tDCS اثربخشی بیشتری در مقایسه با tRNS در حافظه کاری داشت و از این روش می‌توان همراه با سایر درمان‌ها برای بهبود حافظه کاری کودکان دارای اختلال نقص توجه/ بیش فعالی استفاده نمود.

تاریخ دریافت

۱۴۰۲/۰۹/۰۹

تاریخ پذیرش نهایی

۱۴۰۲/۱۰/۲۱

واژگان کلیدی

اختلال نقص توجه/ بیش فعالی، حافظه کاری، تحریک الکتریکی مستقیم، تحریک الکتریکی با نويز تصادفی

این مقاله برگرفته از رساله دکتری نویسنده اول است.

مقدمه

اختلال نقص توجه- بیش فعالی (یک اختلال روان پزشکی است که در دوران کودکی آغاز می شود و با سطوح نامتناسب کمبود توجه از لحاظ تحولی، تکانش گری و بیش فعالی مشخص می شود (انجمن روانشناسی آمریکا، ۲۰۱۳). این اختلال با پیامدها و همبسته های منفی در میان کودکان مانند: مشکلات تحصیلی، مشکلات در روابط با همسالان و تعارض های خانوادگی در ارتباط است (کازدا^۳ همکاران، ۲۰۲۱). بزرگسالان دارای نقص توجه- بیش فعالی نیز همانند کودکان احتمال بیشتری وجود دارد که رفتارهای ضد اجتماعی، سوء مصرف مواد مخدر و مشکلات شغلی داشته باشند (چو^۴ همکاران، ۲۰۲۲).

مطالعات ریخت شناسانه، زیست شیمیایی، عصبی- بدنی شناختی و کارکردی با توجه به اساس عصب شناختی اختلال نقص توجه- بیش فعالی بر درگیری نواحی عصبی خاص مانند لوب پیشانی، لوب آهیانه ای، هیپوکامپ و مخچه در این اختلال تأکید دارند (فیروز آبادی و همکاران، ۲۰۲۲). این نواحی عصبی ارتباط نزدیکی با کنش های اجرایی هیز دارند به نحوی که باعث شده است محققان فراوانی نقایص موجود در کنش های اجرایی را به عنوان هسته اصلی این اختلال بشناسند و این نقایص را توجیهی برای مشکلات در نارسایی توجه، تکانش گری و فزون کنشی این افراد بدانند (داف و سولا^۵، ۲۰۱۵). کنش های اجرایی، کنش های عالی نظام عصبی هستند که به مجموعه ای از توانایی های شناختی از قبیل برنامه ریزی، کنترل مهاری، سازماندهی، حافظه

کاری و حل مسئله اطلاق می شود (فیسک و هلمبویی^۶، ۲۰۱۹). کنش های اجرایی به فرد در تنظیم رفتار، برنامه ریزی، استدلال انتزاعی، تغییر جهت توجه و بازداری کمک کرده و بدین ترتیب وی را قادر به خودکنترلی می سازد (ملتزر^۷، ۲۰۱۹). کنش های اجرایی همچنین بیشترین ارتباط را با لوب پیشانی و پیش پیشانی نیز دارند و مشخص شده است که کودکان دچار ضایعه در لوب پیشانی با ناهنجاری هایی در کنترل تکانش گری، فعالیت حرکتی و دامنه توجه ظاهر می شوند. بر اساس برخی شواهد یکی از مهمترین کنش های اجرایی که در کودکان مبتلا به نارسایی توجه/ فزون کنشی دچار ضعف هست، حافظه کاری است (فیسک و هلمبویی، ۲۰۱۹).

حافظه کاری عبارت است از ذخیره سازی و دستکاری اطلاعات برای یک دوره زمانی معین و کوتاه مدت (بدلی^۸، ۲۰۱۴). مطالعات عصب شناختی نشان داده است که مبتلایان به نارسایی توجه/ فزون کنشی دارای نارسایی هایی در هیپوکامپ می باشند (تیان^۹ و همکاران، ۲۰۱۹) از آنجایی که هیپوکامپ نقش مهمی در حافظه کاری دارد، می توان نارسایی موجود در حافظه کاری را در این افراد توجیه کرد (ال امین^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۸). علاوه بر این، پژوهشگران به اهمیت لوب آهیانه ای و پیشانی نیز در عملکرد حافظه کاری اشاره دارند، به طوریکه شکنج فوق حاشیه ای ناحیه آهیانه و ناحیه پیشانی در نگهداری اطلاعات و ذخیره سازی اطلاعات در تکالیف حافظه کاری نقش دارند (دی ووگد و هرمنس^{۱۱}، ۲۰۲۲). فعالیت این نواحی در حین انجام تکالیف مربوط به حافظه کاری در افراد مبتلا به نارسایی

7. Working memory

8. Fiske, & Holmboe

9. Meltzer

1. Baddeley

1. Tian

1. Al-Amin

1. de Voogd & Hermans

0

1

2

3

1. Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD)

2. American Psychiatric Association (APA)

3. Kazda

4. Xu

5. Executions function

6. Duff & Sulla

توجه/ فزون کنشی نابهنجار است و نقایص این مناطق مغزی می‌تواند تبیین کننده مشکلات مربوط به تمرکز و بازداری در این افراد باشد (کامینسکی و همکاران، ۲۰۲۱).

با توجه به مطالب ارائه شده می‌توان به اهمیت کنش‌های اجرایی خصوصاً حافظه کاری در مبتلایان به اختلال نقص توجه- بیش‌فعالی پی برد. به همین دلیل نیاز است مداخلات مؤثری برای بهبود این کنش اجرایی انجام گیرد تا تأثیرات مثبتی در نشانه‌های این افراد نمایان شود. تاکنون تلاش‌های فراوانی برای این امر انجام گرفته است که این روش‌ها را می‌توان طیفی از مداخله‌های دارویی تا روانی- اجتماعی و شناختی تقسیم نمود (فیرمن و همکاران، ۲۰۲۰). در سال‌ها اخیر روش‌های تحریک غیرتهاجمی مغز به‌عنوان یک روش درمانی نوین در خصوص اختلالاتی که مبانی عصب-شناختی دارند معرفی شده و مورد پژوهش قرار گرفته است. یکی از این روش‌ها، روش تحریک الکتریکی مستقیم مغز^۳ (tDCS) است. تحریک الکتریکی مستقیم مغز یک فن درمانی است که جریان مستقیم و ضعیفی را به مناطق قشری وارد می‌کند و فعالیت خودانگیخته عصبی را تسهیل یا بازداری میکند (استگ و همکاران، ۲۰۱۸).

تحریک فراجمجمه‌ای مغز در قالب دو الکتروود که بر روی مناطق هدف بر روی سطح سر قرار می‌گیرند با جریانی ضعیف ۱ تا ۲ میلی آمپر ارائه می‌شود. بعد از حدود ۵ دقیقه این جریان ضعیف از سطح مجسمه عبور کرده و فعالیت سلول‌های عصبی در ناحیه قرار گرفتن الکتروودها و مناطق زیر قشر متصل به آنها را تحت تأثیر قرار می‌دهد (گیوردانو و همکاران، ۲۰۱۸). این امر موجب افزایش یا کاهش شلیک

نورون و در نتیجه تعدیل فعالیت آن‌ها می‌شود. در تحریک الکتریکی با جریان نويز تصادفی (tRNS) نیز برای اینکه تحریک الکتریکی مستقل از قطب مثبت و یا منفی باشد، جریان به‌صورت یک نوسان دائمی از قطب مثبت به منفی ارائه می‌شود بر خلاف روش تحریک الکتریکی مستقیم است که جریان مثبت و منفی به‌صورت مستقیم بر سطح مجسمه اعمال می‌شوند (مورت و همکاران، ۲۰۱۹).

در خصوص اثربخشی تحریک الکتریکی مستقیم با هدف بهبود کارکرد حافظه کاری، اگر چه تعداد زیادی از مقالات نشان می‌دهند که تحریک الکتریکی مستقیم می‌تواند کارکرد حافظه کاری را بهبود بخشد (صالحی نژاد و همکاران، ۲۰۱۹؛ نجاتی و همکاران، ۲۰۲۰؛ وستوود و همکاران، ۲۰۲۲)؛ اما این اثر به شدت ناپایدار است (فرامراندو و همکاران، ۲۰۲۱). این نتایج متناقض، به نظر می‌رسد ناشی از تفاوت در طرح مطالعات، پروتکل تحریک و تفاوت‌های بین فردی باشد (جانتز، کتز و رویتر-لورنز، ۲۰۱۶). اثربخشی تحریک الکتریکی با جریان نويز تصادفی نیز بر کارکردهای شناختی مانند توجه در چندین مطالعه بررسی شده است (برای مثال پالم و همکاران، ۲۰۱۶). با این حال برائور و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعاتی با تحریک منطقه قشر پیشانی تحتانی راست با استفاده از تحریک الکتریکی جریان نويز تصادفی هیچ تغییری در نتایج تکلیف برو/نرو و داده‌های رفتاری نیافتند. در مطالعه‌ای دیگر برویت-آبی و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که سه جلسه تحریک الکتریکی با جریان نويز تصادفی در منطقه قشر پیش‌پیشانی پشتی جانبی چپ موجب کاهش

6. Transcranial Random Noise Stimulation (tRNS)

7. Moret

8. Westwood

9. Framorando

1. Jantz, Katz & Reuter-Lorenz

1. Palm 1

1. Brauer 2

1. Brevet-Aeby 3

1. Kamiński

2. Fairman

3. Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS)

4. Stagg

5. Giordano

زمان واکنش افراد در آزمون برو/نرو می‌گردد اما بر دقت پاسخ افراد در این آزمون تأثیری ندارد.

مقایسه میان دو نوع تحریک الکتریکی مستقیم و جریان نويز تصادفی نیز در خصوص بهبود عملکرد افراد در کارکرد حافظه کاری در پژوهش مولکیونی (و همکاران ۲۰۱۱) نشان داد که تحریک منطقه قشر پیش‌پیشانی پشتی جانبی چپ به مدت ۱۰ دقیقه موجب بهبود عملکرد افراد در آزمون ۲-بک گردیده اما این اثر در گروه تحریک الکتریکی با جریان نويز تصادفی مشاهده نشد. اما در پژوهش‌های جدیدتر مورفی (و همکاران ۲۰۲۰) نشان داده شد که تحریک الکتریکی با جریان نويز تصادفی اثربخشی بیشتری در مقایسه با تحریک مستقیم در بهبود حافظه کاری دارد. به طور کلی تحقیقات تصویربرداری تشدید مغناطیسی عملکردی نشان دادند که در مورد حافظه کاری قشر پیش‌پیشانی پشتی جانبی ۳ هر دو نیمکره به همراه قشر پیشانی جانبی و قشر حلقوی قدامی اهمیت بالایی دارند (جانتر و همکاران، ۲۰۱۶). بر همین اساس تحریک مناطق فوق با استفاده از جریان مستقیم و نويز تصادفی می‌تواند تأثیرات مثبتی بر کارکردهای شناختی داشته باشد. علاوه بر این ارائه این تحریکات همراه با آموزش‌های شناختی نظیر آموزش حافظه کاری امروزه در اکثر تحقیقات انجام شده در این حوزه رایج شده است (برای مثال وستوود و همکاران، ۲۰۲۲).

با توجه به شواهد اختصاصی مطالعات تصویربرداری تشدید مغناطیسی عملکردی در مورد مناطق تعیین کننده در خصوص حافظه کاری، مناطقی که به سطح جمجمه نزدیک‌تر هستند می‌توانند هدف مداخلات تحریک غیرتهاجمی مغز باشند. بر همین اساس مقایسه دو روش تحریک الکتریکی مستقیم و نويز

تصادفی درحالی‌که مناطق تحریک و شدت آنها کنترل شده و از آموزش‌های شناختی یکسان برای به دست آوردن نتایج دقیق‌تر استفاده شود می‌تواند اثر هر یک از این روش‌ها را بر فعالیت مغز و کارکردهای شناختی هدف روشن سازد. از سوی دیگر با توجه به اهمیت حافظه کاری در اختلال نقص توجه-بیش‌فعالی و نیاز به ارائه درمان‌های نوین و کم‌هزینه و فراگیر در خصوص مشکلات افراد دارای این اختلال و با توجه به تعداد اندک تحقیقات انجام گرفته در زمینه تأثیر تحریک الکتریکی مستقیم و نويز تصادفی بر حافظه کاری در افراد مبتلا به نقص توجه - بیش‌فعالی از یکسو و یافته‌های متناقض از سوی دیگر، هدف این مطالعه مقایسه اثر تحریک الکتریکی مستقیم و تحریک الکتریکی با نويز تصادفی همراه با آموزش شناختی بر عملکرد حافظه کاری افراد دارای اختلال نقص توجه/بیش‌فعالی است.

طرح پژوهش

مطالعه حاضر از نوع کاربردی و نیمه آزمایشی با طرح پیش‌آزمون-پس‌آزمون با گروه گواه و دوره پیگیری بود.

جامعه، نمونه و روش نمونه‌گیری

جامعه آماری این پژوهش شامل تمامی نوجوانان مبتلا به اختلال نقص توجه-بیش‌فعالی در محدوده سنی ۱۳ تا ۱۷ سال زاهدان بود که در نیمه دوم سال ۱۳۹۸ و سال ۱۳۹۹ به بیمارستان روان‌پزشکی بهاران دانشگاه علوم پزشکی زاهدان مراجعه کرده بود. تعداد ۴۵ نفر از این افراد که از طرف روانشناسان بالینی و روان‌پزشکان بیمارستان روان‌پزشکی بهاران دانشگاه علوم پزشکی زاهدان تشخیص اختلال نقص توجه-بیش‌فعالی دریافت کرده بودند، به‌صورت هدفمند به‌عنوان نمونه پژوهش انتخاب شدند. این افراد از بین ۱۱۰ نفر که تشخیص قطعی این اختلال را داشتند، پس از هماهنگی با مسئولین و کادر درمان بیمارستان روان‌پزشکی بهاران و اعلام آمادگی خانواده و خودشان

¹. Mulquaney

². Murphy

³. The Dorsolateral Prefrontal Cortex (DLPFC)

آزمون کامپیوتری ان-بک: این آزمون یک آزمون سنجش عملکرد شناختی مرتبط با کنش‌های اجرایی است که نخستین بار در سال ۱۹۸۵ توسط کرچنر^۳ معرفی شد. این آزمون امروزه به صورت گسترده‌ای در مطالعات و مداخلات عصب-روانشناختی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از آن جا که این آزمون هم نگهداری اطلاعات شناختی و هم دستکاری آنها را شامل می‌شود، ابزاری مناسب در سنجش حافظه کاری به شمار می‌رود و یکی از پر کاربردترین ابزارهای وابسته به فرهنگ است (کین^۴ همکاران، ۲۰۰۷). در این پژوهش از نسخه فارسی این آزمون کامپیوتری استفاده شد. تکلیف کلی در آزمون یاد شده این است که اعداد ۱ تا ۹، به صورت تصادفی بر صفحه نمایشگر ظاهر می‌شوند. آزمودنی‌ها باید هر عدد را با عدد ماقبل (یکی به عقب)، دو عدد قبلتر (دو تا به عقب)، یا سه عدد قبلتر (سه تا به عقب) مقایسه کنند و مشخص نمایند که آیا دو عدد یکسان هستند یا خیر. انجام این تکلیف مستلزم فعال نگهداشتن آیتم‌ها در حافظه کاری به منظور مقایسه است. در این مطالعه از تکلیف یکی به عقب استفاده شد و از آزمودنی‌ها خواسته شد تا هر عدد را با عدد ماقبل آن مقایسه کنند و اگر این دو عدد یکسان بودند کلید راست و اگر غیر یکسان بودند، کلید چپ را بفشارند. تعداد پاسخ‌های درست و زمان واکنش کلی هر آزمودنی توسط سیستم ثبت شد. ضرایب اعتبار این آزمون بین ۰/۵۴ تا ۰/۸۴ اعتبار بالای این آزمون را نشان می‌دهد و اعتبار آن به عنوان شاخص عملکرد حافظه کاری بسیار قابل قبول است (خرم آبادی و همکاران، ۱۳۹۷).

آزمون فراخنای ارقام هوش وکسلر

این آزمون، یک خرده آزمون از مقیاس هوش وکسلر است که در دو قسمت فراخنای ارقام مستقیم و معکوس طراحی شده است. پاره تست فراخنای ارقام

به عنوان نمونه انتخاب شدند. ملاک‌های ورود به پژوهش عبارت بودند از: ۱- داشتن تشخیص اختلال نقص توجه-بیش فعالی طبق ملاک‌های معیارهای DSM-5 و تأیید روانشناس و روان‌پزشک؛ ۲- قرار گرفتن در محدوده سنی ۱۳ تا ۱۷ سال؛ ۳- رضایت والدین و فرد شرکت‌کننده در پژوهش؛ ۴- راست دست بودن؛ ۵- جنسیت پسر. ملاک خروج نیز عبارت بودند از: ۱- سابقه تشنج و صرع؛ ۲- ضربه به سر؛ ۳- سابقه ابتلا به اختلالات روان‌پزشکی؛ ۴- عدم تمایل فرد نسبت به حضور در پژوهش در هر مرحله از انجام آن؛ ۵- تجربه هرگونه ناراحتی و یا دشواری در مراحل دریافت تحریک الکتریکی فراجمجه‌ای در صورتی که برای فرد قابل تحمل نباشد. پس از انتخاب افراد، تعداد ۱۵ نفر به صورت تصادفی در گروه تحریک الکتریکی فراجمجه‌ای با جریان مستقیم، ۱۵ نفر در گروه تحریک الکتریکی فراجمجه‌ای با جریان نوین تصادفی و ۱۵ نفر در گروه گواه گمارده شدند. هر یک از افراد گروه‌های آزمایش ۵ جلسه تحریک الکتریکی با فاصله ۲۴ ساعت میان هر جلسه دریافت کردند؛ علاوه بر این برای اینکه شرایط یکسانی هر سه گروه داشته باشند؛ هر سه گروه تکلیف شناختی نیز دریافت کردند و گروه گواه نیز تحریک فراجمجه‌ای ساختگی نیز دریافت نمود. پیش از شروع جلسات (مرحله پیش‌آزمون)، پس از مداخلات (مرحله پس‌آزمون) و یک هفته بعد از پایان مداخله در دوره پیگیری تکالیف پژوهش را تکمیل نمودند.

ابزار پژوهش

در این پژوهش برای سنجش حافظه کاری از آزمون کامپیوتری حافظه کاری ان-بک و پاره تست فراخنای ارقام هوش وکسلر استفاده شد که در زیر شرح این ابزارها ارائه شده است.

^۳ . Kirchner

^۴ . Kane

^۱ . N- back

^۲ . wechsler Digit Span Test

یا منفی باشد، جریان به صورت یک نوسان دائمی از قطب مثبت به منفی ارائه شد و بر خلاف روش تحریک الکتریکی مستقیم است که جریان مثبت و منفی به صورت مستقیم بر سطح مجسمه اعمال می‌شوند. این ابزار مورد تأیید جامعه عصب روان‌شناسی و کاردرمانی بوده و در تحقیقات مختلفی نیز جهت تحریک مغزی مورد استفاده قرار گرفته است (شاه محمدی کلیر و همکاران، ۱۳۹۸). برای افراد گروه گواه، پروتکل مشابهی اجرا شد، با این تفاوت که با این تفاوت که به جای تحریک واقعی، تحریک شم (ساختگی) به مدت فقط سی ثانیه اعمال گردید. دلیل انتخاب سی ثانیه جهت تحریک به این دلیل بود که در ابتدای اعمال تحریک روی پوست سر سوزش بسیار خفیفی ایجاد می‌شود که قابل احساس است و در ادامه تحریک، این احساس بسیار کمتر می‌شود. بدین صورت برای شرکت‌کنندگان قابل تشخیص نبود که این تحریک واقعی یا ساختگی است (ارسطو و همکاران، ۲۰۱۹).

تکلیف توانبخشی شناختی

در این پژوهش هم راستا با پژوهش‌های پیشین (مانند پژوهش وستوود و همکاران، ۲۰۲۲)، همراه با تحریک فراجمجه‌ای، برای افزایش ظرفیت حافظه کاری هر سه گروه از تکلیف توانبخشی شناختی ان-بک استفاده شد. در این تکلیف، توالی از محرک‌ها یکی پس از دیگری بر روی صفحه نمایش داده می‌شود و از آزمودنی خواسته می‌شود محرک اخیر را با آیت‌هایی که n تعداد مرتبه قبلی در توالی ظاهر شده‌اند، مقایسه کند و در صورت هم‌تا بودن کلید پاسخ را فشار دهد. نوع دیگری از تکلیف ان-بک که اثربخشی تمرین آن در تحقیقات مختلف به اثبات رسیده است تمرین ان-بک دوگانه می‌باشد که در آن دو نوع محرک (دیداری-فضایی و شنیداری) مورد استفاده قرار می‌گیرد (هاینزل و همکاران، ۲۰۱۷). پژوهش‌های در حوزه اعصاب نشان داده است تمرین

مستقیم ابزاری برای سنجش حافظه کوتاه مدت و توجه است (آیوپرلی و همکاران، ۲۰۱۲). پاره تست فراخنای ارقام معکوس ابزار مهمی برای ارزیابی حافظه کاری است (وستبرگ، ۲۰۰۴). ضریب آلفای کرونباخ برای این پاره تست ۰/۶۵ و ضریب اعتبار با روش باز آزمایی ۰/۸۳ گزارش شده است (مرادی و همکاران، ۲۰۱۱).

تحریک الکتریکی فراجمجه‌ای

در پژوهش حاضر، تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجه‌ای با استفاده از دستگاه دو کاناله NEUROSTIM-2 ساخت شرکت مدینا طب گستر اعمال گردید. این دستگاه با استفاده از دو منبع انرژی مستقل، دو الکترود کاتد و دو الکترود آند کاملاً ایزوله و مجزا را در اختیار قرار می‌دهد. قطب آند در این روش منجر به افزایش تحریک‌پذیری قشری و قطب کاتد منجر به کاهش تحریک‌پذیری قشری می‌گردد (فرگنی و همکاران، ۲۰۰۵). این دستگاه قادر به کنترل دایم امپدانس الکترودها بوده و مانع از هر گونه خطر سوزش و آسیب دیدگی پوست سر می‌گردد. شدت جریان خروجی دستگاه از ۰/۱ تا ۲ میلی‌آمپر قابل تنظیم می‌باشد. الکترودها کربنی و رسانا بوده و برای جلوگیری از واکنش شیمیایی نقطه تماس بین الکترود و پوست درون اسفنج‌های مصنوعی آغشته به محلول کلرید سدیم ۹ قرار داده شد تا ضمن افزایش رسانایی جریان الکتریکی از افزایش حرارت پیشگیری شود. با توجه به تنظیمات پیش‌فرض، فرکانس تحریک این دستگاه قادر به تحریک‌های مختلفی همانند tDCS، tRNS، tACS و tPCS است. در این پژوهش تنها از تحریک tDCS و tRNS به اقتضای موضوع پژوهش استفاده شد. لازم به توضیح است که در تحریک الکتریکی با جریان نويز تصادفی (tRNS) برای اینکه تحریک الکتریکی مستقل از قطب مثبت و

¹ . Aupperle

² . Fregni

³ . Heinzel

آن-بک دوگانه اغلب فعالیت نواحی پیش پیشانی چپ و راست به خصوص ناحیه خلفی-جانبی چپ را فعال می‌کند و تحریک‌پذیری این ناحیه را به‌عنوان شاخصی از عملکرد روزرسانی، جابجایی و بازداری افزایش می‌دهد. این ابزار در مطالعات داخلی و خارجی فراوانی استفاده شده است و اثربخشی آن نشان داده شده است (حق نظری و همکاران، ۱۴۰۱).

یافته‌ها

شرکت‌کنندگان این پژوهش شامل ۴۵ نفر بودند که در سه گروه ۱۵ نفره قرار داشتند. براساس اطلاعات جمع‌آوری شده، تمامی آزمودنی‌ها پسر بودند. علاوه

بر این، میانگین سنی گروه تحریک الکتریکی مستقیم (tDCS) برابر با ۱۳/۹۳، میانگین سنی گروه تحریک الکتریکی با جریان نويز تصادفی (tRNS) برابر با ۱۴ و میانگین سن گروه گواه برابر با ۱۳/۸۶ بود. در جدول ۱ میانگین و انحراف استاندارد متغیرهای پژوهش بر حسب عضویت گروهی و مراحل ارزیابی نشان داده شده است.

جدول ۱: شاخص‌های توصیفی نمرات آزمودنی‌ها در متغیرهای پژوهش براساس عضویت گروهی و مراحل ارزیابی

مرحله	گروه (tDCS)	گروه (tRNS)	گروه گواه
میانگین (انحراف معیار)	میانگین (انحراف معیار)	میانگین (انحراف معیار)	
فراخوانی ارقام مستقیم	پیش‌آزمون	۷/۵۳۳ (۰/۸۳۳)	۷/۸۰۰ (۰/۷۴۴)
	پس‌آزمون	۱۰/۴۶۶ (۰/۹۱۵)	۷/۸۰۰ (۱/۲۰۷)
	پیگیری	۱۰/۱۳۳ (۱/۱۲۵)	۸/۰۰ (۰/۹۲۵)
فراخوانی ارقام معکوس	پیش‌آزمون	۵/۹۳۳ (۰/۷۰۳)	۵/۸۰۰ (۰/۸۶۱)
	پس‌آزمون	۱۱/۰۰ (۱/۶۹۰)	۷/۸۰۰ (۱/۰۱۴)
	پیگیری	۹/۸۰۰ (۱/۲۰۷)	۷/۲۰۰ (۱/۰۱۴)
تعداد خطا	پیش‌آزمون	۱۴/۴۶۶ (۳/۱۵۹)	۱۳/۸۶۶ (۳/۰۲۰)
	پس‌آزمون	۱۱/۰۰ (۲/۲۳۶)	۱۳/۰۰ (۲/۴۴۹)
	پیگیری	۹/۵۳۳ (۰/۹۱۵)	۱۳/۶۰۰ (۲/۵۵۷)
زمان واکنش پاسخ	پیش‌آزمون	۰/۶۰۶ (۰/۱۰۰)	۰/۵۸۹ (۰/۰۸۲)
	پس‌آزمون	۰/۴۹۸ (۰/۰۸۷۳)	۰/۶۱۱ (۰/۰۹۷۰)
	پیگیری	۰/۵۰۲ (۰/۰۸۷۱)	۰/۶۱۳ (۰/۰۹۹۳)

با توجه به نتایج جدول ۱ میانگین نمرات متغیرهای پژوهش در گروه‌های آزمایش و گواه در مرحله پس‌آزمون و پیگیری نسبت به مرحله پیش‌آزمون تغییراتی داشته است. جهت بررسی این تفاوت‌ها و ارزیابی دقیق‌تر نتایج آموزشی از روش آماری تحلیل واریانس اندازه‌گیری مکرر به‌صورت آمیخته استفاده

شد. استفاده از آزمون تحلیل اندازه‌گیری مکرر مستلزم رعایت مجموعه‌ای از پیش‌فرض‌ها می‌باشد. مهمترین این پیش‌فرض‌ها عبارت‌اند از: نرمال بودن توزیع داده‌ها، همگنی واریانس‌ها، همگنی ماتریس کوواریانس و بررسی کروی بودن واریانس‌های درون‌گروهی. برای بررسی پیش‌فرض نرمال بودن

داده‌ها از شاخص کجی و کشیدگی استفاده شد، نتایج نشان داد که شاخص کجی و کشیدگی همه متغیرهای پژوهش در دامنه ۲ و ۲- قرار داشت و این به معنای نرمال بودن داده‌ها می‌باشد. از آزمون لون برای بررسی همگنی واریانس‌ها استفاده شد که نتایج نشان داد در هیچکدام از متغیرهای وابسته این آزمون معنادار نبود ($p > 0.05$) که نشان می‌دهد که این پیش‌فرض برای همه متغیرها رعایت شده است. سومین پیش‌فرض کروی بودن

واریانس‌های درون‌گروهی بود که از آزمون ماوچلی^۱ برای بررسی معنی‌داری این پیش‌فرض استفاده شد، نتایج این آزمون نشان داد که این مفروضه برای مولفه‌های فراخنای ارقام مستقیم و معکوس (وکسلر)، برقرار می‌باشد. یعنی سطح معنی‌داری بیشتر از ۰/۰۵ می‌باشد. همچنین برای مولفه‌های تعداد خطا (ان - بک) و زمان واکنش پاسخ (ان - بک) این مفروضه برقرار نمی‌باشد. یعنی سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد. با توجه به اینکه برای مؤلفه تعداد خطا مقدار اپسیلون بیشتر از ۰/۷۵ بود از اصلاحیه هیون-فلدت برای بررسی معنی‌داری این متغیرهای معنی‌دار شده استفاده شد؛ همچنین با توجه به اینکه برای مؤلفه زمان واکنش پاسخ مقدار اپسیلون کمتر از ۰/۷۵ است از اصلاحیه گرین هاوس-گیسر استفاده شد (مصرآبادی، ۱۳۹۷).

¹ . Mauchly

در ادامه نتایج تحلیل واریانس اندازه‌گیری مکرر به صورت آمیخته برای متغیرهای پژوهش ارائه شده است.

جدول ۲: خلاصه نتایج تحلیل واریانس آمیخته با عوامل درون گروهی و بین گروهی برای متغیر حافظه کاری

متغیر	منابع تغییر	مجموع مجذورات	DF	میانگین مجذورات	F	P	اندازه اثر
فراخوانی	مراحل	۶۴/۸۴	۲	۳۲/۴۴	۴۷/۹۱	۰/۰۰۱	۰/۵۳
ارقام	تعامل مرحله*گروه	۳۴/۳۱	۴	۸/۵۷	۱۲/۶۷	۰/۰۰۱	۰/۵۳
مستقیم	گروه	۵۹/۲۴	۲	۲۹/۶۲	۲۱/۴۱	۰/۰۰۱	۰/۵۰
فراخوانی	مراحل	۱۴۷/۶۵	۲	۷۳/۸۳	۷۸/۹۲	۰/۰۰۱	۰/۶۵
ارقام	تعامل مرحله*گروه	۹۶/۴۳	۴	۲۴/۱۰	۲۵/۷۷	۰/۰۰۱	۰/۶۵
معکوس	گروه	۱۸۶/۴۱	۲	۹۳/۲۰	۶۹/۶۲	۰/۰۰۱	۰/۷۶
تعداد خطا	مراحل	۹۴/۱۷	۱/۷۸	۵۲/۷۸	۲۱/۲۴	۰/۰۰۱	۰/۳۳
	تعامل مرحله*گروه	۱۰۸/۳۱	۳/۴۵۶	۳۰/۳۵	۱۲/۲۱	۰/۰۰۱	۰/۳۳
	گروه	۱۲۲/۸۴	۲	۶۱/۴۲	۴/۷۹	۰/۰۱	۰/۱۸
زمان واکنش	مراحل	۰/۰۳	۱/۳۳	۰/۰۲	۱۵/۴۳	۰/۰۰۷	۰/۲۶
پاسخ	تعامل مرحله*گروه	۰/۰۸	۲/۶۶	۰/۰۳	۱۸/۶۳	۰/۰۰۱	۰/۴۷
	گروه	۰/۱۵	۲	۰/۰۷	۳/۵۱	۰/۰۳	۰/۱۴

گروه‌ها در طی مراحل پیش‌آزمون، پس‌آزمون و پیگیری است (اثر متقابل گروه در زمان).

در ادامه نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی برای مقایسه تفاوت زوجی مراحل اندازه‌گیری و آزمون تعقیبی توکی برای مقایسه تفاوت زوجی گروه‌ها در نمرات ادراک بیماری و مولفه‌های آن در جدول ۳ و جدول ۴ داده شده است.

در جدول ۲ نتایج آزمون ANOVA اندازه‌گیری مکرر برای بررسی معنی‌داری تفاوت میانگین‌های نمرات حافظه کاری در مراحل مختلف پیش‌آزمون، پس‌آزمون و پیگیری ارائه شده است. براساس نتایج مندرج در جدول مذکور در همه متغیرهای حافظه کاری در هر سه اثر درمان (گروه)، زمان و اثر متقابل گروه در زمان معنی‌دار است ($p < 0.05$). به این معنا که در این متغیرها از مرحله پیش‌آزمون تا پیگیری تفاوت معنی‌داری به وجود آمده است (اثر زمان)؛ بین سه گروه نیز در معنی‌داری مولفه‌های فوق تفاوتی وجود دارد (اثر گروه) و نشانگر عملکرد متفاوت

جدول ۳: نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی در طی زمان در حافظه کاری

متغیر	مقایسه	tDCS	tRNS	گواه
		تفاوت معنی‌داری	تفاوت معنی‌داری	تفاوت معنی‌داری
		میانگین‌ها	میانگین‌ها	میانگین‌ها
فراخوانی	پیش‌آزمون / پس‌آزمون	-۲/۹۳۳	۰/۰۰۱	-۱/۶۰۰
ارقام	پیش‌آزمون / پیگیری	-۲/۶۰۰	۰/۰۰۱	-۰/۶۰۰
مستقیم	پس‌آزمون / پیگیری	۰/۳۳۳	۰/۲۷۷	۱/۰۰
فراخوانی	پیش‌آزمون / پس‌آزمون	-۵/۰۶۷	۰/۰۰۱	-۲/۰۰
	پیش‌آزمون / پیگیری	-۳/۸۶۷	۰/۰۰۱	-۱/۴۰۰

ارقام معکوس	پس آزمون	پیگیری	۱/۲۰۰	۰/۰۰۶	۰/۶۰۰	۰/۱۵۳	۰/۳۳۳	۰/۴۲۴
تعداد خطا	پیش آزمون	پس آزمون	۳/۴۶۷	۰/۰۰۱	۰/۸۶۷	۰/۰۴۱	۰/۷۳۳	۰/۰۸۲
	پیش آزمون	پیگیری	۴/۹۳۳	۰/۰۰۱	۰/۲۶۷	۰/۶۷۷	۰/۳۳۳	۰/۶۰۳
	پس آزمون	پیگیری	۱/۴۶۷	۰/۰۱۲	۰/۶۰۰	۰/۲۸۹	۰/۴۰۰	۰/۴۷۸
زمان	پیش آزمون	پس آزمون	۰/۱۰۹	۰/۰۰۱	۰/۰۲۲	۰/۰۹۸	۰/۰۲۳	۰/۰۹۳
واکنش	پیش آزمون	پیگیری	۰/۱۰۴	۰/۰۰۱	۰/۰۲۳	۰/۱۳۸	۰/۰۱۷	۰/۲۸۰
پاسخ	پس آزمون	پیگیری	۰/۰۰۵	۰/۵۲۴	۰/۰۰۱	۰/۸۶۹	۰/۰۰۶	۰/۴۳۹

tRNS در مؤلفه فراخنای ارقام مستقیم در همه مراحل پژوهش تفاوت معنی داری وجود داشت ($p < 0.05$). در این گروه در مؤلفه فراخنای ارقام معکوس در مراحل پیش آزمون با پس آزمون و پیش آزمون با پیگیری تفاوت معنی داری یافت شد. همچنین در مؤلفه تعداد خطا بین مرحله پیش آزمون با پس آزمون تفاوت معنی داری وجود داشت ($p < 0.05$). با این حال در مؤلفه زمان واکنش پاسخ و سایر مراحل مؤلفه‌ای این گروه تفاوت معنی داری یافت نشد. با توجه به نتایج این جدول از مرحله پیش آزمون تا پیگیری آزمودنی‌های گروه tDCS بهبودی بالاتری را در مقایسه با گروه tRNS در مولفه‌های مرتبط با حافظه کاری تجربه کرده بودند.

جهت مقایسه مراحل سه گانه اندازه گیری در گروه‌های آزمایش و گواه از آزمون تعقیبی بونفرونی در جدول ۳ استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که در هیچکدام از مراحل سنجش در گروه گواه تفاوت معنی داری وجود نداشت ($p > 0.05$). با این حال در گروه tDCS در مولفه‌های فراخنای ارقام معکوس و تعداد خطا در همه مراحل مقایسه (پیش آزمون با پس آزمون، پیش آزمون با پیگیری و پس آزمون با پیگیری) تفاوت معنی داری وجود داشت ($p < 0.01$). همچنین در این گروه در مؤلفه فراخنای ارقام مستقیم و زمان واکنش پاسخ بین مرحله پیش آزمون با پس آزمون و پیش آزمون با پیگیری تفاوت معنی داری یافت شد ($p < 0.001$). در گروه

جدول ۴: نتایج آزمون تعقیبی توکی در طی زمان در حافظه کاری

متغیر	مقایسه	پیش آزمون	پس آزمون	پیگیری
		تفاوت معنی داری	تفاوت معنی داری	تفاوت معنی داری
		میانگین‌ها	میانگین‌ها	میانگین‌ها
فراخنای ارقام مستقیم	tDCS	tRNS	۰/۲۶۷	۰/۳۵۷
	tDCS	گواه	۰/۰۶۷	۰/۸۱۷
	tRNS	گواه	۰/۳۳۳	۰/۲۵۱
فراخنای ارقام معکوس	tDCS	tRNS	۰/۱۳۳	۰/۶۵۲
	tDCS	گواه	۰/۰۶۷	۰/۸۲۱
	tRNS	گواه	۰/۰۶۷	۰/۸۲۱
تعداد خطا	tDCS	tRNS	۰/۶۰۰	۰/۵۷۸
	tDCS	گواه	۰/۲۶۷	۰/۸۰۴
	tRNS	گواه	۰/۳۳۳	۰/۷۵۷
زمان	tDCS	tRNS	۰/۰۱۷	۰/۶۳۳

واکنش	tDCS	گواه	-۰/۰۱۶	۰/۶۲۳	-۰/۱۰۴	۰/۰۰۳	-۰/۱۰۵	۰/۰۰۱
پاسخ	tRNS	گواه	-۰/۰۳۴	۰/۳۳۴	۰/۰۱۰	۰/۷۴۷	۰/۰۰۶	۰/۸۵۱

نتایج آزمون تعقیبی توکی برای مقایسه تفاوت گروه‌ها در مراحل ارزیابی در جدول ۴ نشان می‌دهد که در مرحله پیش‌آزمون هیچ تفاوتی بین گروه‌ها وجود نداشته است ($p > 0.05$). در مرحله پس‌آزمون در همه گروه‌ها بین فراخنای ارقام مستقیم و فراخنای ارقام معکوس تفاوت معنی‌داری وجود داشت ($p < 0.01$). به این معنا که هر دو گروه آزمایش در مقایسه با گروه گواه افزایش نمره بیشتری را در فراخنای ارقام مستقیم و معکوس به دست آورده بودند. همچنین در مقایسه بین دو گروه آزمایش، اثربخشی گروه tDCS در مرحله پس‌آزمون در مؤلفه فراخنای ارقام مستقیم و معکوس بیشتر از گروه tRNS بوده است. همچنین در مرحله پس‌آزمون بین گروه tRNS و گواه تفاوت معنی‌داری یافت نشد ($p > 0.05$). در مرحله پیگیری نیز نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین گروه tDCS با گروه tRNS و گواه وجود داشت و نتایج بیانگر آن بود که شرکت‌کنندگان گروه tDCS در مرحله پیگیری افزایش نمرات بالاتری را در مقایسه با گروه tRNS و گواه تجربه کرده بودند. همچنین نتایج نشان داد که در مرحله پیگیری بین دو گروه tRNS و گواه تفاوت معنی‌داری یافت نشد ($p > 0.05$). در مجموع نتایج نشان می‌دهد که اثربخشی گروه tDCS در مؤلفه حافظه کاری در مقایسه با گروه tRNS بیشتر بوده است.

بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف مقایسه اثر تحریک الکتریکی مستقیم و تحریک الکتریکی با نویز تصادفی همراه با آموزش شناختی بر عملکرد حافظه کاری افراد دارای اختلال نقص توجه/ بیش فعالی انجام گرفت، نتایج

پژوهش نشان داد که در اکثر مولفه‌های حافظه کاری شرکت‌کنندگان گروه tDCS اثربخشی بالاتری را در مقایسه با گروه گواه و گروه tRNS تجربه کرده بودند؛ علاوه بر این اثربخشی tDCS در مقایسه با tRNS در طی زمان ماندگارتر بوده است. یافته‌های پژوهش با مطالعاتی که نقش tDCS را بر حافظه کاری و کارکردهای اجرایی کودکان مبتلا به نقص توجه - بیش فعالی نشان داده‌اند همسو می‌باشد (از جمله صالحی نژاد و همکاران، ۲۰۱۹؛ نجاتی و همکاران، ۲۰۲۰؛ وستوود و همکاران، ۲۰۲۲). همچنین این یافته همسو با نتایج مولکیونی و همکاران (۲۰۱۱) می‌باشد که نشان دادند تحریک الکتریکی مستقیم تأثیری بیشتری بر عملکرد شناختی در مقایسه با تحریک الکتریکی با نویز تصادفی دارد؛ علاوه بر این، این نتیجه ناهمسو با نتایج مورفی و همکاران (۲۰۲۰) است که نشان داده است که تحریک الکتریکی با جریان نویز تصادفی اثربخشی بیشتری در مقایسه با تحریک مستقیم در بهبود حافظه کاری دارد. نتایج حاضر همچنین مغایر با یافته مایلیوس^۱ و همکاران (۲۰۱۲) است که با وجود جریان دو میلی‌آمپری tDCS تغییری از بهبود حافظه کاری گزارش نشده است که ممکن است ناشی از فاصله یک هفته‌ای بین جلسات تحریک باشد؛ به این صورت که فاصله انجام تحریکات در این پژوهش ۲۴ ساعت بوده است.

در تبیین اثربخشی tDCS بر عملکرد حافظه کاری افراد دارای اختلال نقص توجه/ بیش فعالی می‌توان به تغییر فعالیت مغزی از طریق تعدیل انتقال دهنده عصبی نورون گیرنده اشاره کرد. tDCS می‌تواند

^۱ . Mylius

سرعت انتشار انتقال دهنده عصبی را از طریق تأثیر بر انتشار پتانسیل عمل یا احتمال آزاد شدن وزیکول‌ها^۱ تغییر دهد. شواهد محکمی وجود دارد که نشان می‌دهد tDCS بر غلظت انتقال دهنده‌های عصبی تأثیر می‌گذارد (راتورف و همکاران، ۲۰۱۹). البته این تأثیر بر غلظت ممکن است اختصاصی باشد. در تائید این نظر، یافته‌ها نشان می‌دهد تحریک آندی tDCS می‌تواند فعالیت انتقال دهنده عصبی گابا^۲ را در بخشی از مغز فعال کند حال آن‌که در منطقه‌ای دیگر چنین تأثیری را نداشته باشد (هیمراث^۴ و همکاران، ۲۰۲۰). در زمینه تأثیر tDCS آندی بر قشر جانبی خلفی پیش‌پیشانی^۵ (DLPFC)، نیز می‌توان فرضیه افزایش میزان انتقال دهنده عصبی گلوتامات را مطرح کرد. گلوتامات با حافظه کاری مرتبط است و موجب تسریع فرآیند حافظه می‌گردد (مورفی و همکاران، ۲۰۲۰). علاوه بر این، شرکت‌کنندگان این پژوهش همگی راست برتر بودند که می‌تواند نشان‌دهنده برتری نسبی نیمکره چپ مغز باشد. به نظر می‌رسد که در اثر تحریک آندی در DLPFC چپ، تحریک‌پذیری کورتکسی به میزان بیشتری افزایش یافته است و این برتری نسبی بیشتر نمایان شده و موجب بهبود در برخی کارکردها از جمله زمان واکنش شده است. پژوهش‌های مختلفی اثربخشی tDCS بر ناحیه DLPFC بر کارکردهای شناختی از جمله حافظه، زبان، یادگیری و توجه را نشان داده‌اند؛ یعنی ممکن است تحریک این ناحیه موجب بهبود کارکردهای شناختی شود، زیرا این ناحیه با فعالیت‌ها و کنش‌های شناختی درگیر است که خود موجب

بهبود عملکرد در تکلیف حافظه کاری شود (دوبریول - وال و همکاران، ۲۰۱۹). یکی دیگر از فرضیاتی که در زمینه تأثیر tDCS بر حافظه کاری آزمودنی‌ها مطرح می‌شود، بحث پتانسیل بلندمدت است. این مکانیسم به افزایش فعالیت طولانی‌مدت سلول‌های عصبی می‌پردازد و در بحث انعطاف‌پذیری نورونی مطرح می‌گردد. پتانسیل بلندمدت یکی از عوامل تأثیرگذار مهم در بحث یادگیری و حافظه است. طبق این مکانیسم، تحریک آندی tDCS موجب فرآیند ناقطبی شدن سلول و در نتیجه افزایش تحریک‌پذیری سلول می‌گردد اما تحریک کاتدی tDCS موجب بالا رفتن سطح آستانه سلول عصبی و کاهش تحریک‌پذیری سلول می‌شود. مطالعات رابطه پتانسیل بلندمدت و tDCS را نشان می‌دهند (استگ^۷ و همکاران، ۲۰۱۸).

از سوی دیگر نتایج نشان داد که tRNS اثربخشی مورد انتظاری بر حافظه کاری نداشت. این یافته همسو با نتایج مولکیونی و همکاران (۲۰۱۱) بود. در هر دو این تحقیقات برای سنجش حافظه کاری از تکلیف یکی به عقب استفاده شده است و از آزمودنی‌ها خواسته شده تا هر عدد را با عدد ماقبل آن مقایسه کنند. با این حال در مطالعات دیگر مانند پژوهش مورفی و همکاران (۲۰۲۰) از سطوح بالاتر این تکلیف استفاده شده است. با این حال دلایل دیگری نیز وجود دارد از جمله تنوع عوامل مرتبط با پروتکل تحریک الکتریکی مانند: تعداد جلسات، محل قرار گرفتن الکترودها، شدت تحریک و همچنین ابزارهای شناختی که به منظور ارزیابی اثر تحریک الکتریکی مورد استفاده قرار گرفته است موجب تنوع

¹ . vesicles

² . Ruttorf

³ . GABA

⁴ . Heimrath

⁵ . dorsal-lateral prefrontal cortex (DLPFC)

⁶ . Dubreuil-Vall

⁷ . Stagg

به علت محدودیت‌های موجود، این پژوهش تنها بر روی پسران مبتلا به اختلال نقص توجه - بیش فعالی انجام گرفته است و بر این اساس شاید نتوان این پژوهش را برای دختران تعمیم داد.

پیشنهادهای

با توجه به نتایج این پژوهش، پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آتی از نمونه‌های با حجم بزرگ‌تر برای سنجش تأثیر تحریکات فوق بر حافظه کاری استفاده کرد.

پیشنهاد می‌شود در صورت امکان از روش‌های نمونه‌گیری تصادفی که مناسب‌تر می‌باشند، استفاده نمود.

به پژوهشگران علاقه‌مند پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های بعدی کودکان دارای اختلال نقص توجه - بیش فعالی دختر را به‌عنوان جامعه پژوهش مورد مطالعه قرار دهند و یا در صورت امکان به مقایسه عملکرد هر دو جنس در این حوزه بپردازند.

همچنین پیشنهاد می‌شود از تحریک الکتریکی مستقیم همزمان با سایر درمان‌ها در جهت بهبود حافظه کاری کودکان مبتلا به اختلال نقص توجه - بیش فعالی استفاده کرد.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از پایان نامه دکتری تخصصی می‌باشد. بدین وسیله از تمام شرکت‌کنندگان پژوهش کمال تشکر و قدردانی را داریم. همچنین از زحمات سرکار خانم دکتر محبوبه قویدل حیدری (روانشناس تربیتی)، سرکار خانم دکتر زهرا غیائی (روانپزشک)، جناب آقای دکتر بهزاد ریگی (روانشناس بالینی) و سرکار خانم نادیا خوشخوی (روانشناس) به واسطه حمایت‌های ویژه‌ای که در طول جمع‌آوری داده‌های رساله در بحبویه دوران بیماری کرونا داشتند تشکر ویژه داریم.

نتایج شده و تفسیر یافته‌های پژوهشی در این حوزه را دشوار کرده است (ولدما^۱ و همکاران، ۲۰۲۱). یک تبیین احتمالی در مورد عدم تأثیر قابل قبول tRNS بر حافظه کاری می‌تواند اندازه الکترودها باشد؛ مطالعه ما از الکترودهای فعال کوچکتر با سطح غیر دایره‌ای در مقایسه با بسیاری از مطالعات قبلی استفاده کرد که همان ناحیه مورد نظر را تحریک می‌کرد و چون اندازه الکتروود وسعت ناحیه تحریک شده زیر الکترودها را تعیین می‌کند احتمال می‌رود اگر از اندازه‌های الکترودهای بالاتری استفاده می‌شد شاید تغییری در نتایج به دست می‌آمد.

در مجموع نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که tDCS می‌تواند حافظه کاری را بهبود بخشد و این ارتقاء عملکرد می‌تواند به تکلیف سنجش حافظه کاری n-back و فراخانی ارقام منتقل شود؛ با این حال تأثیرات tRNS بر حافظه کاری چندان امیدوار کننده نبود؛ اما این نتایج غیر معنی‌دار نیز به علت این که پژوهش جزو اولین پژوهش‌هایی می‌باشد که در این زمینه با روش‌شناسی خاص این پژوهش انجام گرفته است، می‌تواند به‌عنوان پیشینه پژوهشی برای تحقیقات آینده مورد استفاده قرار گیرد و از جهتی تحقیقات غیر معنی‌دار همواره منجر به افزایش حیطه‌های دانش شده‌اند.

محدودیت‌ها

از محدودیت‌های پژوهش حاضر استفاده از روش نمونه‌گیری هدفمند به دلیل عدم تعداد نمونه کافی می‌باشد. این طرح توانایی ضعیفی در کنترل عوامل مؤثر دیگری، همچون امکان دریافت خدمات درمانی جانبی دیگر داشت.

^۱ . Veldema

منابع

- Al-Amin, M., Zinchenko, A., & Geyer, T. (2018). Hippocampal subfield volume changes in subtypes of attention deficit hyperactivity disorder. *Brain research*, 1685, 1-8.
- American Psychiatric Association. Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders: Fifth Edition. President DiliP. Jeste, M.D (2013).
- Arastoo, A. A., Parsaei, S., Zahednejad, S., Alboghebish, S., & BurBur, A. (2019). Effect of unilateral transcranial direct current stimulation on reaction time in veterans and athletes with disabilities. *Iranian Journal of War and Public Health*, 11(3), 133-138. [Persian]
- Aupperle, R. L., Melrose, A. J., Stein, M. B., & Paulus, M. P. (2012). Executive function and PTSD: disengaging from trauma. *Neuropharmacology*, 62(2), 686-694.
- Baddeley, A. D. (2017). The concept of working memory: A view of its current state and probable future development. In *Exploring working memory* (pp. 99-106). Routledge.
- Brevet-Aeby, C., Mondino, M., Poulet, E., & Brunelin, J. (2019). Three repeated sessions of transcranial random noise stimulation (tRNS) leads to long-term effects on reaction time in the Go/No Go task. *Neurophysiologie Clinique*, 49(1), 27-32.
- De Voogd, L. D., & Hermans, E. J. (2022). Meta-analytic evidence for downregulation of the amygdala during working memory maintenance. *Human Brain Mapping*.
- Dubreuil-Vall, L., Chau, P., Ruffini, G., Widge, A. S., & Camprodon, J. A. (2019). tDCS to the left DLPFC modulates cognitive and physiological correlates of executive function in a state-dependent manner. *Brain stimulation*, 12(6), 1456-1463.
- Duff, C. T., & Sulla, E. M. (2015). Measuring executive function in the differential diagnosis of attention-deficit/hyperactivity disorder: Does it really tell us anything? *Applied Neuropsychology: Child*, 4(3), 188-196.
- Fairman, K. A., Peckham, A. M., & Sclar, D. A. (2020). Diagnosis and treatment of ADHD in the United States: Update by gender and race. *Journal of attention disorders*, 24(1), 10-19.
- Firouzabadi, F. D., Ramezanpour, S., Firouzabadi, M. D., Yousem, I. J., Puts, N. A., & Yousem, D. M. (2022). Neuroimaging in Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: Recent Advances. *American Journal of Roentgenology*, 218(2), 321-332.
- Fiske, A., & Holmboe, K. (2019). Neural substrates of early executive function development. *Developmental Review*, 52, 42-62.
- Framorando, D., Cai, T., Wang, Y., & Pegna, A. J. (2021). Effects of transcranial direct current stimulation on effort during a working-memory task. *Scientific Reports*, 11(1), 1-9.
- Fregni, F., Boggio, P. S., Nitsche, M., Bermanpohl, F., Antal, A., Feredoes, E., ... & Pascual-Leone, A. (2005). Anodal transcranial direct current stimulation of prefrontal cortex enhances working memory. *Experimental brain research*, 166(1), 23-30.
- Giordano, J., Bikson, M., Kappenman, E. S., Clark, V. P., Coslett, H. B., Hamblin, M. R., & Calabrese, E. (2017). Mechanisms and effects of transcranial direct current stimulation. *Dose-Response*, 15(1), 1559325816685467.
- Haqazari, F., Nejati, V., Pouretmad, H. (2022). Effectiveness of Computerized Working Memory Training on Sustained Attention and Working Memory of Male School Students. *The Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*, 11(1), 2-13. [Persian]
- Heimrath, K., Brechmann, A., Blobel-Lüer, R., Stadler, J., Budinger, E., & Zaehle, T. (2020). Transcranial direct current

- stimulation (tDCS) over the auditory cortex modulates GABA and glutamate: a 7 T MR-spectroscopy study. *Scientific Reports*, 10(1), 1-8.
- Heinzel, S., Rimpel, J., Stelzel, C., & Rapp, M. A. (2017). Transfer effects to a multimodal dual-task after working memory training and associated neural correlates in older adults—a pilot study. *Frontiers in human neuroscience*, 11, 85.
- Jantz, T. K., Katz, B., & Reuter-Lorenz, P. A. (2016). Uncertainty and promise: the effects of transcranial direct current stimulation on working memory. *Current Behavioral Neuroscience Reports*, 3(2), 109-121.
- Kamiński, J., Sullivan, S., Chung, J. M., Ross, I. B., Mamelak, A. N., & Rutishauser, U. (2017). Persistently active neurons in human medial frontal and medial temporal lobe support working memory. *Nature neuroscience*, 20(4), 590-601.
- Kane, M. J., Conway, A. R., Miura, T. K., & Colflesh, G. J. (2007). Working memory, attention control, and the N-back task: a question of construct validity. *Journal of Experimental psychology: learning, memory, and cognition*, 33(3), 615.
- Kazda, L., Bell, K., Thomas, R., McGeechan, K., Sims, R., & Barratt, A. (2021). Overdiagnosis of attention-deficit/hyperactivity disorder in children and adolescents: a systematic scoping review. *JAMA network open*, 4(4), e215335-e215335.
- Khorram Abadi R, Sepehri Shamloo Z, Salehi Fadardi J, Bigdeli I. Structural model of executive function and extramarital relationship with mediating role of self-control. *Journal of Cognitive Psychology* 2018; 6 (1) :41-50
- Leon-Dominguez, U., Martín-Rodríguez, J. F., & León-Carrión, J. (2015). Executive n-back tasks for the neuropsychological assessment of working memory. *Behavioural brain research*, 292, 167-173.
- Meltzer, L. (Ed.). (2018). *Executive function in education: From theory to practice*. Guilford Publications.
- Misrabadi, J. (2019). *Application of inferential statistics in behavioral sciences*. Publications of Shahid Madani University of Azerbaijan: Tabriz. [Persian]
- .Moradi, A., Salimi, M., & Fathi-Ashtiani, A. (2011). Memory performance of patients suffering posttraumatic stress disorder resulting from the war. *Journal of Behavior Sciences*, 4(4), 269-276.
- Moret, B., Donato, R., Nucci, M., Cona, G., & Campana, G. (2019). Transcranial random noise stimulation (tRNS): a wide range of frequencies is needed for increasing cortical excitability. *Scientific reports*, 9(1), 1-8.
- Mulquiney, P. G., Hoy, K. E., Daskalakis, Z. J., & Fitzgerald, P. B. (2011). Improving working memory: exploring the effect of transcranial random noise stimulation and transcranial direct current stimulation on the dorsolateral prefrontal cortex. *Clinical Neurophysiology*, 122(12), 2384-2389.
- Murphy, O. W., Hoy, K. E., Wong, D., Bailey, N. W., Fitzgerald, P. B., & Segrave, R. A. (2020). Transcranial random noise stimulation is more effective than transcranial direct current stimulation for enhancing working memory in healthy individuals: Behavioural and electrophysiological evidence. *Brain Stimulation*, 13(5), 1370-1380.
- Mylius, V., Jung, M., Menzler, K., Haag, A., Khader, P. H., Oertel, W. H., ... & Lefaucheur, J. P. (2012). Effects of transcranial direct current stimulation on pain perception and working memory. *European journal of pain*, 16(7), 974-982.
- Nejati, V., Salehinejad, M. A., Nitsche, M. A., Najian, A., & Javadi, A. H. (2020). Transcranial direct current stimulation improves executive dysfunctions in ADHD: implications for inhibitory control, interference control, working

- memory, and cognitive flexibility. *Journal of attention disorders*, 24(13), 1928-1943.
- Palm, U., Chalah, M. A., Padberg, F., Al-Ani, T., Abdellaoui, M., Sorel, M., ... & Ayache, S. S. (2016). Effects of transcranial random noise stimulation (tRNS) on affect, pain and attention in multiple sclerosis. *Restorative neurology and neuroscience*, 34(2), 189-199.
- Ruttorf, M., Kristensen, S., Schad, L. R., & Almeida, J. (2019). Transcranial direct current stimulation alters functional network structure in humans: a graph theoretical analysis. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 38(12), 2829-2837.
- Salehinejad, M. A., Wischniewski, M., Nejati, V., Vicario, C. M., & Nitsche, M. A. (2019). Transcranial direct current stimulation in attention-deficit hyperactivity disorder: a meta-analysis of neuropsychological deficits. *PloS one*, 14(4), e0215095.
- Shahmohammadi Kaleybar, M., Bafandeh, H., Yousefi, R., & Rahbaran, R. (2019). Effect of Transcranial Direct Current Stimulation on the Response Inhibition in Patient with Obsessive Compulsive Disorder. *The Neuroscience Journal of Shefaye Khatam*, 7(2), 1-12. [Persian]
- Stagg, C. J., Antal, A., & Nitsche, M. A. (2018). Physiology of transcranial direct current stimulation. *The journal of ECT*, 34(3), 144-152.
- Tian, T., Zhang, Y., Wu, T., Yang, L., Chen, C., Li, N., ... & Hu, Y. (2019). miRNA profiling in the hippocampus of attention-deficit/hyperactivity disorder rats. *Journal of cellular biochemistry*, 120(3), 3621-3629.
- Veldema, J., Gharabaghi, A., & Jansen, P. (2021). Non-invasive brain stimulation in modulation of mental rotation ability: A systematic review and meta-analysis. *European Journal of Neuroscience*, 54(10), 7493-7512.
- Westerberg, H. (2004). *Working memory: Development, disorders and training. Institution enförkvinnorsoch barns hälsa/Department of Women's and Children's Health*. Stockholm: Karolinska University Press.
- Westwood, S. J., Bozhilova, N., Criaud, M., Lam, S. L., Lukito, S., Wallace-Hanlon, S., ... & Rubia, K. (2022). The effect of transcranial direct current stimulation (tDCS) combined with cognitive training on EEG spectral power in adolescent boys with ADHD: A double-blind, randomized, sham-controlled trial. *IBRO neuroscience reports*, 12, 55-64.
- Xu, G., Snetselaar, L. G., Strathearn, L., Ryckman, K., Nothwehr, F., & Torner, J. (2022). Association between history of attention-deficit/hyperactivity disorder diagnosis and cardiovascular disease in US adults. *Health Psychology*, 21(3), 452-459