Comparison of the Effect of Direct Transcranial Electrical Stimulation of Motor and Vision Cortex on Working Memory and Motor Performance in Children with Developmental Coordination Disorder

Fariba Jazini, Mahmoud Sheikh*

Movement behavior group, University of Tehran, Tehran, Iran

Article Info:

Received: **10 Jan 2022** ***Revised:*** **29 June 2022** ***Accepted*****: 27 July 2022**

ABSTRACT

Introduction: The purpose of the current study was to compare the effect of direct transcranial electrical stimulation (tDCS) of the motor and vision cortex on working memory and motor performance in girls with developmental coordination disorder (DCD). ***Materials and Methods:*** In this semi-experimental study with a pre-test-post-test research design and a follow-up period of 1 and 42 days, 48 girls with developmental coordination disorder with an age range of 7 to 10 years were selected. There are randomly divided into 4 groups of 12 subjects, including motor cortex tDCS, visual cortex tDCS, sham stimulation, and control. Participants in the pre-test performed 3 working memory tests and 10 throwing and catching skills. The intervention phase was performed for 5 consecutive days. Each day, electrical stimulation of the brain on the motor cortex (C3 anode and Fp2 cathode), visual cortex (Oz anode and Cz cathode), and sham stimulation were performed. Participants performed 3 working memory tests and 10 throwing and catching skills. In the last session, the post-test phase was performed. 1 day and 42 days after the post-test phase, short-term and long-term follow-up phases were performed, respectively. ***Results:*** Results indicated the persistence of working memory and motor performance in girls with DCD in short-term and long-term follow-up tests. However, no significant difference was found between the effect of tDCS on the motor and vision cortex on working memory and motor performance. ***Conclusion:*** tDCS of the motor cortex and visual cortex significantly improved working memory and motor performance in girls with developmental coordination disorders.

Keywords:

1. Motor Skills Disorders
2. Child
3. Memory

***Corresponding Author:** Mahmoud Sheikh

Email: *prosheikh@yahoo.com*

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.52547/shefa.10.3.1]

مقایسهٔ اثر تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای قشر حرکتی و بینایی بر حافظه کاری و عملکرد حرکتی کودکان با اختلال هماهنگی رشدی

فریبا جزینی، محمود شیخ*

گروه رفتار حرکتی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

اطلاعات مقاله:
دریافت: ۲۰ دی ۱۴۰۰ اصلاحیه: ۸ تیر ۱۴۰۱ پذیرش: ۱۰ مرداد ۱۴۰۱

چـــــکیده

مقدمه: هدف مطالعهٔ حاضر مقایسهٔ اثر تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای قشر حرکتی و بینایی بر حافظه کاری و عملکرد حرکتی کودکان دختر با اختلال هماهنگی رشدی بود. **مواد و روش‌ها:** در این مطالعه شبه آزمایشی با طرح تحقیق پیش‌آزمون- پس‌آزمون و دوره پیگیری ۱ و ۴۲ روزه، ۴۸ دختر دارای اختلال هماهنگی رشدی با دامنه سنی ۷ تا ۱۰ سال انتخاب شدند. آن‌ها به صورت تصادفی در ۴ گروه ۱۲ نفری شامل تمرینات tDCS قشر حرکتی، tDCS قشر بینایی، تحریک ساختگی و کنترل قرار گرفتند. شرکت‌کنندگان در پیش‌آزمون به اجرای ۳ آزمون حافظه کاری و ۱۰ مهارت پرتاب کردن و گرفتن پرداختند. مرحله مداخله در ۵ روز متوالی انجام گرفت. در هر روز، تحریک الکتریکی مغز از قشر حرکتی (آند C۳ وکاتد Fp۲)، قشر بینایی (آند Oz وکاتد Cz) و تحریک ساختگی انجام می‌گرفت. شرکت‌کنندگان به اجرای ۳ آزمون حافظه کاری و ۱۰ مهارت پرتاب کردن و گرفتن می‌پرداختند. در آخرین جلسه، پس‌آزمون اجرا گردید. ۱ روز و ۴۲ روز بعد از مرحله پس‌آزمون، به ترتیب مرحله پیگیری کوتاه مدت و بلند مدت انجام گرفت. **یافته‌ها:** نتایج ماندگاری حافظه کاری و عملکرد حرکتی کودکان دختر دارای اختلال هماهنگی رشدی در آزمون‌های پیگیری کوتاه مدت و بلند مدت را نشان داد. با این وجود، بین اثر تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای قشر حرکتی و بینایی بر حافظه کاری و عملکرد حرکتی تفاوت معنی‌داری یافت نگردید. **نتیجه‌گیری:** تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای قشر حرکتی و قشر بینایی به طور معنی‌داری حافظه کاری و عملکرد حرکتی کودکان دختر با اختلال هماهنگی رشدی را بهبود می‌بخشد.

واژه‌های کلیدی:
۱- اختلالات مهارت‌های حرکتی
۲- کودک
۳- حافظه

***نویسنده مسئول:** محمود شیخ

پست الکترونیک: *prosheikh@yahoo.com*

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.52547/shefa.10.3.1]

مقدمه

رشد حرکتی با سایر توانایی‌های اساسی مطابقت دارد و توجه بسیاری از محققان و همچنین ارائه‌دهندگان مراقبت‌های سلامتی را به خود جلب کرده است. مطالعات قبلی، مشکلات حرکتی کودکان را به عنوان دست و پا چلفتی، دیسپراکسی[1]، مشکلات یادگیری حرکتی یا اختلال توجه، کنترل حرکتی و ادراک عنوان کرده‌اند که این مفاهیم، مشکلات کودکان را با حرکت یا اکتساب حرکت از دیدگاه‌های مختلف توضیح می دهد (۱). با این حال، چنین اصطلاحاتی فقط بر یک زمینه خاص یا علائم کودکان تمرکز می‌کنند؛ اما نه بر روند رشد آن‌ها (۲). از طریق کاوش‌های عمیق، محققان در نهایت به یک اجماع دست یافتند که اختلال هماهنگی رشدی (DCD)[2] کودکان باید به عنوان زیر مجموعه‌ای از یک اختلال عصبی رشدی طبقه‌بندی شود (۳). در حال حاضر، DCD به‌طور کلی به عنوان یک اختلال در توانایی حرکتی متمایز از هوش و سایر اختلالات عصبی شناخته می‌شود (۴). با توسعه تحقیقات مغز و علوم اعصاب شناختی، کشف شد که DCD، فقط مربوط به سیستم حرکتی نیست؛ بلکه به مجموعه پیچیده‌ای از اختلالات عصبی شامل حافظه، توجه، عملکرد اجرایی و استدلال نیز مرتبط است (۵). علاوه بر این، داده‌های تصویربرداری عصبی، الگوهای فعال‌سازی مغز تغییر یافته را در شبکه‌های کارکردی شامل نواحی پیشانی، آهیانه‌ای و مخچه در کودکان مبتلا به DCD در مقایسه با کودکان در گروه‌های دیگر نشان داده‌اند که با چند ساختار کلیدی در مدل‌سازی داخلی همپوشانی دارند (۶). علاوه بر این، محققان شواهدی پیدا کرده‌اند که نشان‌دهنده رابطه بین DCD و اختلال‌های شناختی عمیق است. کودکان مبتلا به DCD، اغلب دچار از دست دادن حافظه کاری می‌شوند که به‌طور قابل توجهی با برنامه‌ریزی و کنترل حرکات آن‌ها مرتبط است (۵). این ممکن است به دلیل تخصیص تعداد متفاوتی از منابع شناختی به حافظه دیداری- فضایی در طول فرایند اجرای حرکات باشد (۳). همچنین، اختلال هماهنگی رشدی (DCD)، یک اختلال عصبی رشدی است که با اختلال در اکتساب و اجرای توانایی‌های حرکتی هماهنگ همراه است (۷). مشکلات حرکتی مشخصی که در افراد مبتلا وجود دارد، تا حد زیادی با فعالیت‌های زندگی روزمره تداخل می‌کند و مشخص شده است که پیامدهای منفی در حوزه‌های تحصیلی، شناختی و اجتماعی دارد (۸). علاوه بر این، رابطه نزدیک بین حافظه کاری و توانایی یادگیری در بین کودکان مبتلا به DCD پیدا شده است. تحقیقات نشان می‌دهد که در بین کودکان مبتلا به DCD، آن‌هایی که حافظه کاری پایین‌تری دارند، در آزمون‌های سواد بدنی و توانایی‌های محاسباتی خود عملکرد پایین‌تری دارند. همبستگی خاص بین حافظه کاری و توانایی یادگیری نشان می‌دهد که پردازش حافظه کاری نقش مهمی در فرایند اکتساب مهارت‌های حرکتی برای کودکان مبتلا به DCD ایفا می‌کند (۹). مطابق با چنین یافته‌هایی که نشان دهنده اختلال در حافظه کاری و پردازش اطلاعات در کودکان دارای اختلال هماهنگی رشدی می‌باشد، سوالی که پیش می‌آید، در مورد چگونگی ایجاد بهترین طرحهای تمرینی برای این کودکان می‌باشد. درک چگونگی بهترین طرح تمرین مهارت‌های حرکتی برای والدین و مربیانی (توانبخشان، کار درمانان، معلمان تربیت بدنی، مربیان ورزش و غیره) که با این جوامع کودکان کار می‌کنند، مهم می‌باشد. موضوعی که تمرکز اصلی تحقیقات رفتار حرکتی و روانشناسی ورزشی را در چندین سال اخیر به خود اختصاص داده است، تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای[3] (tDCS) می‌باشد. اخیراً، علاقه به استفاده از tDCS به‌عنوان روشی برای افزایش این کارکردها به دلیل دسترسی آسان به تجهیزات و طیف وسیعی از یافته‌های امیدوارکننده افزایش یافته است (۱۰). tDCS روشی غیرتهاجمی است که طی آن، جریان مستقیم ضعیفی (۱ تا ۴ میلی‌آمپر) بر پوست سر وارد می‌شود و با استفاده از آن، تغییرات بلندمدت در قطبیت قشر مغز در پی ناقطبی سازی و بیش قطبی نورون‌ها و تأثیر برگیرنده‌های عصبی ایجاد می‌شود (۱۱). به‌عبارت دیگر، در این نوع تحریک الکتریکی، نقاطی از سر با استفاده از جریان‌های ضعیف الکتریکی هدف قرار می‌گیرند و باعث فعال‌سازی یا غیرفعال‌سازی نقطه مورد نظر می‌شوند (۱۲). tDCS نشان داده که می‌تواند به عنوان یک ابزار قدرتمند در تعدیل‌سازی و تغییر تحریک‌پذیری مناطق حرکتی درگیر در حرکت استفاده شود. مطالعات پیشین نشان داده‌اند که یادگیری مهارت حرکتی را می‌توان با استفاده از تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای آندال (tDCS) به قشر حرکتی اولیه (M1) در طی تمرین جسمانی مهارت‌های جدید تسهیل کرد (۱۳). این نتایج نشان می‌دهد که M1 هنگام یادگیری مهارت‌های حرکتی از طریق تمرینات جسمانی، نقش عملکردی دارد. از این رو از tDCS به‌عنوان راهبردی برای بهبود عملکرد و یادگیری حرکتی استفاده شده است. نتایج مطالعات اخیر، حاکی از اثر مثبت تحریک الکتریکی مستقیم مغز بر یادگیری مهارت‌های حرکتی (۱۸-۱۴) و حافظه کاری (۲۱-۱۹) دارد. اگرچه تعداد قابل توجهی از مطالعات با استفاده از tDCS مزایای بالقوه‌ای را در بهبود عملکرد شرکت‌کنندگان در تکالیف حافظه کاری و تکالیف حرکتی نشان دادند؛

[1] Dyspraxi
[2] Developmental Coordination Disorder (DCD)
[3] Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS)

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2026-11-02]
[DOI: 10.52547/shefa.10.3.1]

اما در یک مطالعه به‌خصوص قابل توجه که توسط فرگنی[4] و همکاران (۲۰۰۵) انجام شد، tDCS آندال (a-tDCS) اعمال شده بر روی قشر جلوی مغزی پشتی جانبی چپ (DLPFC)[5]، دقت پاسخ تکلیف حافظه کاری را همزمان با تحریک افزایش داد. با این حال، هنگامی که آن‌ها تحریک آندال را روی قشر حرکتی اولیه و تحریک کاتدی روی DLPFC سمت چپ اعمال کردند، هیچ اثر قابل توجهی ظاهر نشد (۲۲). این یافته ها نشان می دهد که اثر تقویت کننده tDCS بر حافظه کاری به قطبیت تحریک بستگی دارد و مختص محل تحریک است (۲۲). نتایج مطالعات در زمینه تأثیر انواع مکان‌های تحریک الکتریکی متفاوت می‌باشد. در این زمینه، هریس[6] و همکاران (۲۰۱۹) دریافتند که بین تحریک الکتریکی قشر بینایی و حرکتی در تکلیف پات گلف تفاوتی وجود ندارد (۲۳)؛ اما در زمینه توانبخشی، فریرا[7] و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی چهار ناحیه تحریک بر ارتقا و افزایش توانبخش حرکتی پرداختند که عبارتند از: ۱) tDCS قشر حرکتی اولیه؛ ۲) ترکیب از tDCS مرکزی و تحریک محیطی؛ ۳) tDCS پره فورنتال و ۴) tDCS مخچه (۲۴). نتایج از کارایی tDCS قشر حرکتی اولیه نسبت به مکان‌های دیگر در بهبود توانبخشی حرکتی حمایت می‌کنند. اگرچه مطابق با دیدگاه قیود محور (نیویل[8]، ۱۹۸۵) فرد از عوامل مهم و تأثیرگذار بر اجرای مهارت‌ها می‌باشد و می‌توانند از دلایل توجیه کننده نتایج متناقض این مطالعات می‌باشد (۲۵)؛ اما تحقیقات بیشتری در این زمینه دارای ضرورت می‌باشد. علاوه بر این، اگرچه تغییرات تحریک‌پذیری قشر حرکتی ناشی از tDCS می‌توانند پاسخ‌های حرکتی را بهبود بخشد؛ اما این تأثیرات، به شدت بستگی به فاصله زمانی بین تحریک و عملکرد تکلیف دارد. در این ارتباط، مولرو- چامیزو[9] و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای به بررسی اثرات یک جلسه tDCS آندال (۱/۵ میلی آمپر، به مدت ۱۵ دقیقه) بر روی قشر حرکتی اولیه چپ (M1) در مقابل تحریک شم بر عملکرد یک واکنش ساده برو/نرو پرداختند. تکلیف زمان در سه نقطه زمانی مختلف بعد از tDCS - یعنی ۰، ۳۰ یا ۶۰ دقیقه پس از تحریک انجام گردید. نتایج نشان داد که عملکرد صفر دقیقه پس از tDCS آندال در کل دوره تکلیف بهبود یافته است. عملکرد ۳۰ دقیقه پس از tDCS آندال فقط در آخرین بلوک از زمان واکنش بهبود یافته است. عملکرد ۶۰ دقیقه پس از tDCS آندال در کل تکلیف متفاوت نبود (۲۶). در این ارتباط، باچ[10] و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای مروری، به بررسی ادبیات منتشر شده در این مورد پرداختند که آیا tDCS می‌تواند اکتساب، یادداری یا انطباق‌پذیری مهارت‌های حرکتی را تسهیل نماید.

در این مورد ادبیات منتشر شده، اگرچه دارای نتایج ضد و نقیض می‌باشد؛ اما تقریباً نتایج از نقش tDCS بر اکتساب مهارت‌های حرکتی حمایت می‌کنند؛ اما در مورد پیگیری و به‌خصوص پیگیری بلندمدت، نقش tDCS همچنان نامعلوم می‌باشد (۱۳). مطالعات انجام گرفته در مورد اثر ماندگاری تحریک tDCS بیشتر به صورت کوتاه مدت (نهایت تا یک هفته بعد از تحریک tDCS بررسی شده است و همچنین ماندگاری بلند مدت تحریک tDCS نیز بررسی نگردیده است. به‌طور مثال، اگرچه پیکسا[11] و همکاران (۲۰۱۷)، سیچانسکی و کیرتون[12] (۲۰۱۷) و گومز- عثمان و فیلد- فوت[13] (۲۰۱۳)، تأثیرات مثبت آموزش tDCS را بر تکالیف با هماهنگی دو دستی نشان دادند (۲۹-۲۷)؛ اما تأثیرات این تمرینات، بیشتر از یک هفته بررسی نگردیدند که نتایج مطالعه گومز- عثمان و فیلد- فوت (۲۰۱۳) نشان داد که تأثیرات تمرینات tDCS بعد از یک هفته تمرین از بین رفت (۲۹). بنابراین، بررسی پیگیری دراز مدت تمرینات tDCS در مطالعه حاضر چالش پیش روی محقق می‌باشد. بنابراین، با توجه به چالش‌های موجود اعم از مکان تحریک و ماندگاری اثر تمرینات tDCS و با توجه به اینکه مطالعات انجام شده در کودکان DCD بیشتر متمرکز بر تحریک در یک ناحیه بوده است؛ مطالعه حاضر با هدف مقایسه اثر tDCS قشر بینایی و قشر حرکتی بر عملکرد و حافظه کاری کودکان DCD انجام گرفت. همچنین از دیگر اهداف این مطالعه، بررسی ماندگاری این تمرینات بود.

مواد و روش‌ها

روش تحقیق

پژوهش حاضر، با توجه به اهداف پیش بینی شده، از نوع پژوهش‌های نیمه‌تجربی و به لحاظ استفاده از نتایج بدست آمده، کاربردی بود. طرح پژوهش به صورت پیش‌آزمون- پس‌آزمون با دوره پیگیری (پیگیری یک روزه و پیگیری ۶ هفته‌ای (۳۰) با سه گروه تجربی (تحریک واقعی قشر بینایی، تحریک واقعی قشر حرکتی، تحریک ساختگی) و گروه کنترل بود. جامعه آماری پژوهش حاضر، کودکان دختر و پسر دارای اختلال هماهنگی رشدی ۷ تا ۱۰ ساله مرکز بهزیستی و توابخشی خوراسگان اصفهان بودند (لازم به ذکر است که اختلال کودکان با استفاده از معیار اختلال حرکتی (نمرات کل آزمون زیر صدک ۱۶ در مجموعه آزمون‌های ارزیابی حرکتی کودکان نسخه دوم (MABC-II)[14] و پرسشنامه تکمیل شده توسط والدین (در زمینه‌های حرکتی، اجتماعی و تحصیلی) تأیید شدند). از بین جامعه آماری مورد نظر به صورت هدفمند، حداقل اندازه نمونه ۳۲ نفر (هشت نفر در هر گروه) با محاسبه توان

[4] Fregni
[5] Dorsolateral Prefrontal Cortex
[6] Harris
[7] Ferreira
[8] Newell
[9] Molero-Chamizo
[10] Buch
[11] Pixa
[12] Ciechanski & Kirton
[13] Gomes-Osman & Field-Fote
[14] Movement Assessment Battery for Children, 2nd Edition

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2026-11-02]
[DOI: 10.52547/shefa.10.3.1]

(G * Power نسخه ۳،۱،۹،۴) با استفاده از آلفای ۵ درصد، بتای ۹۰ درصد و اندازه اثر ۰/۳ بر اساس مقادیر از مطالعاتی که قبلاً انجام شده بود (۳۰)، اقتباس گردید. با پیش بینی احتمال افت ۳۰ درصد نمونه‌ها (هیلر[15] و همکاران، ۲۰۱۰)، مجموع ۴۸ دختر و پسر دارای اختلال هماهنگی رشدی برای شرکت در مطالعه حاضر انتخاب شدند و به صورت تصادفی در چهار گروه تحریک واقعی قشر بینایی، تحریک واقعی قشر حرکتی، تحریک ساختگی و کنترل قرار گرفتند. معیارهای ورود شامل دختران با اختلال هماهنگی رشدی، دارا بودن سن ۷ تا ۱۰ سال، راست دست بودن و دارای دید طبیعی بود (۳۱). در صورتی که آزمودنی‌ها حداقل ۲ جلسه تمرینات مربوطه را از دست می‌دادند و افرادی که از لحاظ جسمانی آسیب میدیدند، از مشارکت در فعالیت آن‌ها جلوگیری می‌شد. همچنین اگر آزمودنی‌ها مایل به کنار کشیدن از مطالعه بودند، از مطالعه حذف می‌شدند. علاوه بر این، آزمودنی‌هایی که دارای زایمان زودرس (کمتر از ۳۶ هفته حاملگی) یا هرگونه اختلال عصبی، روانی و یا مزمن بودند، حذف شدند. در این مطالعه، از دستگاه تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای (tDCS) جهت تحریک الکتریکی مغز استفاده گردید. دستگاه مورد استفاده در این پژوهش Dose Active و منبع جریان این دستگاه یک باطری ۹ ولت است. حداکثر شدت جریان ۴ میلی‌آمپر DC که از طریق اتصال الکترودهایی با قطبیت متفاوت (آند و کاتد) روی پوست سر نصب می‌شوند و جریان ثابت الکتریکی را از روی جمجمه به مغز منتقل می‌کند. در این پژوهش، الکترودها درون پدهای اسفنجی ۳۵ سانتی متر مربع قرار می‌گیرند و سطح پدها با محلول کلرید سدیم ۹ درصد آغشته می‌شود تا ضمن افزایش رسانایی جریان الکتریکی، از افزایش حرارت پیشگیری شود. دستگاه از لحاظ شدت جریان، اندازه الکترود و مدت زمان تحریک، قابل کنترل است. برای یافتن نقاط سیستم بین‌المللی ۲۰-۱۰ به کار گرفته شد. در این مطالعه، از تحریک الکتریکی با جریان ۱/۵ میلی‌آمپر و به مدت ۱۵ دقیقه با پدهای اسفنجی به ابعاد ۵×۷ استفاده شد (۳۲). جریان ۱/۵ میلی‌آمپر به مدت ۱۵ دقیقه می‌تواند روی فاکتورهای شناختی اثر تسهیل کننده داشته باشد (۳۳) و یک اثر تحریکی تا ۹۰ دقیقه را ایجاد می‌کند (۳۴). همچنین، برای اندازه‌گیری حافظهٔ کاری، از آزمون حافظهٔ کاری کمبریج استفاده شد. آزمون حافظه کاری، از مجموعه آزمون‌های علوم ذهنی کمبریج[16] است که با استفاده از نرم‌افزار اجرا گردید. در آزمون حافظهٔ کاری، شرکت‌کنندگان سعی می‌کنند تا یک سری مربع‌های رنگی را در درون یک مربع ۴×۴ به خاطر بسپارند. بعد از نمایش این مربع‌های رنگی، شرکت‌کنندگان این مربع‌های رنگی را به وسیلهٔ موس کامپیوتر مشخص می‌کنند. اگر شرکت کننده صحیح پاسخ دهد، در مرحلهٔ بعد، یک مربع رنگی دیگر به فهرست مربع‌های رنگی اضافه می‌شود؛ اما اگر پاسخ صحیح ندهد، در مرحلهٔ بعد، یک مربع از فهرست مربع‌های رنگی حذف می‌شود. در هر مرحله، موقعیت مربع‌ها برای جلوگیری از راهکارهای جست‌وجوی تکراری تغییر می‌کند. بعد از ۳ خطا، آزمون به اتمام می‌رسد (۳۵). علاوه بر این، تکلیف این مطالعه شامل آزمون پرتاب کردن و گرفتن بود. شرکت‌کنندگان در فاصله ۲ متری از دیوار می‌ایستند و سپس یک توپ تنیس را به سمت دیوار پرتاب نمودند و تلاش می‌کنند تا آن را بگیرند. شرکت‌کنندگان آموزش دیدند که تنها از دست‌هایشان برای گرفتن توپ استفاده نمایند و از سینه کمک نگیرند. همچنین شرکت‌کنندگان نباید اجازه دهند که توپ با زمین برخورد داشته باشد. عملکرد گرفتن (گرفتن/ نگرفتن توپ) در پژوهش حاضر توسط درصد نمره مطلق محاسبه شد (۱۰۰/۱۰ × تعداد گرفتن‌های صحیح توپ (۲).

روش اجرا

روش گردآوری مطالعه حاضر به روش میدانی بود. در ابتدا از والدین رضایتنامه آگاهانه کتبی کسب شد. همچنین کودکان به صورت شفاهی تمایل خود را برای شرکت در پژوهش اعلام نمودند. سپس شرکت‌کنندگان با اهداف تحقیق و نحوه امتیازدهی و اجرای آزمون‌های مورد نظر آشنا گردیدند. مطالعه حاضر، شامل مراحل پیش‌آزمون، مداخله (تمرین)، پس‌آزمون و پیگیری کوتاه‌مدت و بلندمدت بود. شرکت‌کنندگان در مرحله پیش‌آزمون، ابتدا به اجرای سه کوشش آزمون حافظه کاری پرداختند. سپس، شرکت‌کنندگان به اجرای ۱۰ کوشش مهارت پرتاب کردن و دریافت کردن پرداختند. بین هر کوشش، ۱ دقیقه استراحت و بین دو تکلیف ۱۵ دقیقه استراحت در نظر گرفته شد. مرحله مداخله در ۵ روز متوالی انجام گرفت. مطالعات قبلی نشان دادند که روند پنج روزه، اثرات امیدوار کننده‌ای را به دنبال دارد و از آن می‌توان به‌عنوان روندی مؤثر سود جست (۳۰). در گروه تحریک الکتریکی مستقیم قشر بینایی شرکت‌کنندگان در هر روز پیش از تمرین به مدت ۲۰ دقیقه تحریک الکتریکی مغز فراجمجمه‌ای قشر بینایی (آند Oz و کاتد Cz) را دریافت می‌کنند (بدین صورت که در تحریک الکتریکی آندی، جریان مستقیم ۱/۵ میلی‌آمپر در تمام طول مدت تحریک به فرد وارد می‌شود) و سپس به تمرین ۱۰ کوشش مهارت پرتاب و دریافت و ۳ کوشش حافظه کاری می‌پردازند. در گروه

[15] Hillier
[16] Cambridge Neuropsychological Test Automated Battery

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2026-11-02]
[DOI: 10.52547/shefa.10.3.1]

تحریک الکتریکی مستقیم قشر حرکتی شرکت‌کنندگان در هر روز پیش از تمرین به مدت ۲۰ دقیقه تحریک الکتریکی مغز فراجمجمه‌ای قشر حرکتی (آند C3 و کاتد Fp2) را دریافت می‌کنند (بدین صورت که در تحریک الکتریکی آندی جریان مستقیم ۱/۵ میلی‌آمپر در تمام طول مدت تحریک به فرد وارد می‌شود) و سپس به تمرین ۱۰ کوشش مهارت پرتاب و دریافت و ۳ کوشش حافظه کاری می‌پردازند. در گروه تحریک الکتریکی ساختگی (تصنعی) شرکت‌کنندگان در هر روز پیش از تمرین به مدت ۲۰ دقیقه تحریک الکتریکی ساختگی را دریافت می‌کنند (تحریک الکتریکی شم بعد از اتصال الکترودها، جریان الکتریکی ۱/۵ میلی‌آمپر به فرد وارد می‌شود؛ اما بعد از گذشت ۳۰ ثانیه بدون اینکه به فرد اطلاعی داده شود، جریان الکتریکی قطع می‌شود) و سپس به تمرین ۱۰ کوشش مهارت پرتاب و دریافت و ۳ کوشش حافظه کاری می‌پردازند. در گروه کنترل، شرکت‌کنندگان در هر روز به تمرین ۱۰ کوشش مهارت پرتاب و دریافت و ۳ کوشش حافظه کاری می‌پردازند. بلافاصله بعد از جلسه پنجم تحریک، مرحله پس‌آزمون انجام گرفت، ۲۴ ساعت بعد از مرحله پس‌آزمون، مرحله پیگیری کوتاه‌مدت انجام گرفت و ۶ هفته بعد از مرحله پس‌آزمون، مرحله پیگیری بلندمدت انجام گرفت که در آن شرکت‌کنندگان به اجرای سه کوشش آزمون حافظه کاری پرداختند. سپس شرکت‌کنندگان به اجرای ۱۰ کوشش مهارت پرتاب کردن و دریافت کردن پرداختند. بین هر کوشش، ۱ دقیقه استراحت و بین دو تکلیف ۱۵ دقیقه استراحت در نظر گرفته شد. به منظور تجزیه و تحلیل اطلاعات، از روش‌های آمار توصیفی برای محاسبه شاخص‌های مرکزی استفاده شد. از آزمون شاپیرو ویلک برای بررسی طبیعی بودن داده‌ها استفاده شد. از آزمون لون برای بررسی برابری واریانس متغیرهای مورد نظر استفاده شد. در آمار استنباطی، از آزمون تحلیل واریانس مرکب استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SPSS نسخه ۲۴ در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ انجام گرفت.

یافته‌ها

در جدول ۱، شاخص‌های آماری مربوط به متغیرهای تحقیق در گروه‌های مختلف ارائه شده است. برای تحلیل داده‌های این مطالعه برای هر یک از متغیرهای تحقیق از آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری تکراری (۴ گروه × ۴ مرحله اندازه‌گیری) استفاده شد. پیش فرض اول این آزمون، برابری ماتریس کواریانس می‌باشد. با توجه به عدم سطح معنی‌داری آزمون باکس (P$_{\text{حافظه کاری}}$=۰/۶۸۰، P$_{\text{مهارت پرتاب و دریافت}}$=۰/۳۴۱)، ماتریس کواریانس داده‌ها برابر می‌باشد. پیش فرض دوم این آزمون، اصل تقارن مرکب می‌باشد. برای برقراری این اصل از آزمون کرویت موخلی استفاده گردید. با توجه به عدم معنی‌دار بودن آزمون کرویت موخلی (P$_{\text{حافظه کاری}}$=۰/۷۵۸، P$_{\text{مهارت پرتاب و دریافت}}$=۰/۲۰۰)، شاخص‌های (F) مربوط به اثر فرض کرویت گزارش شد. علاوه بر این، پیش از بررسی اثرات بین گروهی، برای برابری واریانس‌های خطا از آزمون لوین استفاده گردید. نتایج این آزمون نشان داد که آزمون F برای هیچ یک از عامل‌های درون‌گروهی معنی‌دار نیست (P$_{\text{پیش‌آزمون}}$=۰/۳۱۰، P$_{\text{پس‌آزمون}}$=۰/۶۴۷، P$_{\text{پیگیری کوتاه‌مدت}}$=۰/۶۹۴، P$_{\text{پیگیری بلندمدت}}$=۰/۱۱۹) و این نشان می‌دهد که مفروضه همگنی واریانس در بین گروه‌های متغیر مستقل برقرار است. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود به‌دلیل اینکه اثر تعاملی متغیر حافظه کاری (η^2 =۰/۱۹۷، sig=۰/۰۰۱، F=۳/۵۹) و مهارت پرتاب و دریافت (η^2 =۰/۱۷۸، sig=۰/۰۰۱، F=۳/۱۸۶) معنی‌دار است، از اثرات اصلی

جدول ۱- میانگین و انحراف معیار مربوط به متغیرهای تحقیق

مهارت	مرحله	تحریک قشر حرکتی	تحریک قشر بینایی	تحریک ساختگی	کنترل
دریافت کردن	پیش‌آزمون	۵۰/۱۲±۸۳/۴۰	۵۲/۱۶±۵۰/۰۲	۵۰/۱۵±۰۰/۹۵	۴۳/۱۳±۳۳/۴۸
	پس‌آزمون	۸۵/۱۰±۰۰/۰۰	۸۱/۱۶±۶۶/۹۶	۵۰/۱۴±۰۰/۷۷	۴۶/۱۷±۶۶/۷۵
	پیگیری کوتاه‌مدت	۷۷/۷±۵۰/۵۳	۷۷/۱۰±۵۰/۵۰	۴۲/۱۰±۵۰/۹۴	۴۶/۱۲±۶۶/۰۳
	پیگیری بلندمدت	۷۹/۱۲±۱۶/۴۰	۸۰/۱۴±۸۳/۴۳	۵۰/۱۰±۸۳/۸۳	۵۲/۱۸±۵۰/۱۵
حافظهٔ کاری	پیش‌آزمون	۲/۰±۰۰/۷۳	۲/۰±۲۵/۶۲	۲/۰±۰۸/۹۰	۲/۰±۳۳/۸۸
	پس‌آزمون	۳/۱±۸۳/۱۱	۳/۱±۶۶/۰۷	۲/۰±۰۰/۹۵	۱/۰±۹۱/۷۹
	پیگیری کوتاه‌مدت	۴/۱±۰۰/۰۴	۳/۱±۳۳/۰۷	۱/۰±۸۳/۸۳	۲/۰±۱۶/۸۳
	پیگیری بلندمدت	۳/۱±۹۱/۰۸	۳/۱±۵۰/۳۱	۲/۰±۲۵/۷۵	۲/۰±۱۶/۸۳

جدول ۲- یافته‌های مربوط به آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری تکراری برای متغیرهای تحقیق

متغیر	منبع تغییرات	مجموع مجذورات	درجهٔ آزادی	میانگین مجذورات	مقدار F	سطح معنی‌داری	اندازه اثر
حافظهٔ کاری	مراحل اندازه‌گیری	۱۸/۸۴۹	۳	۶/۲۸۳	۶/۴۹۷	۰/۰۰۱	۰/۱۲۹
	گروه	۷۳/۰۵۷	۳	۲۴/۳۵۲	۳۶/۶۰۷	۰/۰۰۱	۰/۷۱۴
	مراحل اندازه‌گیری * گروه	۳۱/۲۵۵	۹	۳/۴۷۳	۳/۵۹۱	۰/۰۰۱	۰/۱۹۷
مهارت پرتاب و دریافت	مراحل اندازه‌گیری	۸۹۰۹/۸۹۶	۳	۲۹۶۹/۹۶۵	۱۱/۴۹۵	۰/۰۰۱	۰/۲۰۷
	گروه	۳۰۷۸۰/۷۲۹	۳	۱۰۲۶۰/۲۴۳	۳۴/۰۶۶	۰/۰۰۱	۰/۶۹۹
	مراحل اندازه‌گیری * گروه	۷۴۰۸/۸۵۴	۹	۸۲۳/۲۰۶	۳/۱۸۶	۰/۰۰۲	۰/۱۷۸

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.52547/shefa.10.3.1]

صرف‌نظر می‌گردد. در ادامه، از یک طرح تحلیل واریانس درون‌گروهی برای عامل مراحل اندازه‌گیری برای مشخص نمودن تأثیر گروه تمرینی در مراحل مختلف آزمون استفاده شد که نتایج آن در جدول ۳ ارائه گردیده است.

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، نتایج آزمون تحلیل واریانس درون‌گروهی روی عامل مراحل اندازه‌گیری نشان داد که تمرین tDCS ناحیه حرکتی باعث افزایش حافظه کاری گردید (η^2=۰/۵۳۰، sig=۰/۰۰۱، F=۱۲/۳۸). نتایج آزمون پیگردی بنفرونی نشان داد که تمرینات tDCS ناحیه حرکتی باعث بهبود حافظه کاری از پیش‌آزمون تا پس‌آزمون (sig=۰/۰۰۴)، پیگیری کوتاه‌مدت (sig=۰/۰۰۱) و پیگیری بلندمدت (sig=۰/۰۰۱) گردید؛ اما بین مرحله پس‌آزمون با پیگیری کوتاه‌مدت (sig=۱/۰۰) و پیگیری بلندمدت (sig=۱/۰۰) تفاوت معنی‌داری یافت نگردید که این نتایج، حاکی از ماندگاری حافظه کاری شرکت‌کنندگان در اثر تمرین tDCS ناحیه حرکتی بود. دیگر نتایج جدول ۳ حاکی از این بود که تمرین tDCS ناحیه بینایی باعث افزایش حافظه کاری گردید (η^2 =۰/۲۴۹، sig=۰/۰۱، F=۳/۶۳). نتایج آزمون پیگردی بنفرونی نشان داد که تمرینات tDCS ناحیه بینایی باعث بهبود حافظه کاری از پیش‌آزمون تا پس‌آزمون (sig=۰/۰۰۴)، پیگیری کوتاه‌مدت (sig=۰/۰۰۹) و پیگیری بلندمدت (sig=۰/۰۱) گردید؛ اما بین مرحله پس‌آزمون با پیگیری کوتاه‌مدت (sig=۱/۰۰) و پیگیری بلندمدت (sig=۱/۰۰) تفاوت معنی‌داری یافت نگردید که این نتایج، حاکی از ماندگاری حافظه کاری شرکت‌کنندگان در اثر تمرین tDCS ناحیه بینایی بود. همچنین همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود نتایج آزمون تحلیل واریانس درون گروهی روی عامل مراحل اندازه‌گیری نشان داد که تمرین tDCS ناحیه حرکتی باعث افزایش مهارت پرتاب و دریافت گردید (η^2=۰/۶۸۱، sig=۰/۰۰۱، F=۲۳/۴۶). نتایج آزمون پیگردی بنفرونی نشان داد که تمرینات tDCS ناحیه حرکتی باعث بهبود مهارت پرتاب و دریافت از پیش آزمون تا پس آزمون (sig=۰/۰۰۱)، پیگیری کوتاه مدت (sig=۰/۰۰۱) و پیگیری بلند مدت (sig=۰/۰۰۱) گردید. اما بین مرحله پس آزمون با پیگیری کوتاه مدت (sig=۰/۴۹) و پیگیری بلند مدت (sig=۱/۰۰) تفاوت معنی‌داری یافت نگردید که این نتایج حاکی از ماندگاری مهارت پرتاب و دریافت شرکت‌کنندگان در اثر تمرین tDCS ناحیه حرکتی بود. دیگر نتایج جدول ۳ حاکی از این بود که تمرین tDCS ناحیه بینایی باعث افزایش مهارت پرتاب و دریافت گردید (η^2=۰/۴۵۳، sig=۰/۰۰۱، F=۹/۱۱). نتایج آزمون پیگردی بنفرونی نشان داد که تمرینات tDCS ناحیه بینایی باعث بهبود مهارت پرتاب و دریافت از پیش آزمون تا پس آزمون (sig=۰/۰۱)، پیگیری کوتاه مدت (sig=۰/۰۱) و پیگیری بلند مدت (sig=۰/۰۱) گردید. اما بین مرحله پس آزمون با پیگیری کوتاه مدت (sig=۱/۰۰) و پیگیری بلند مدت (sig=۱/۰۰) تفاوت معنی‌داری یافت نگردید که این نتایج حاکی از ماندگاری مهارت پرتاب و دریافت شرکت‌کنندگان در اثر تمرین tDCS ناحیه بینایی بود. بعد از بررسی تفاوت‌های درون‌گروهی، به بررسی تفاوت بین گروهی در هر یک از مراحل آزمون پرداخته شد.

جدول ۳- یافته‌های مربوط به آزمون تحلیل واریانس درون‌گروهی در هر یک از گروه‌های تمرینی برای متغیرهای تحقیق

متغیر	گروه	مجموع مجذورات	درجهٔ آزادی	میانگین مجذورات	مقدار F	سطح معنی‌داری	مجذور اتا
حافظهٔ کاری	tDCS حرکتی	۳۳/۲۲	۳	۱۱/۰۷	۱۲/۳۸	۰/۰۰۱	۰/۵۳۰
	tDCS بینایی	۱۴/۷۲	۳	۴/۹۱	۳/۶۳	۰/۰۱	۰/۲۴۹
	tDCS ساختگی	۱/۰۸	۳	۰/۳۶	۰/۴۳	۰/۷۳	۰/۰۳۸
	کنترل	۱/۰۶	۳	۰/۳۵	۰/۴۴	۰/۷۲	۰/۰۳۹
پرتاب و دریافت کردن	tDCS حرکتی	۸۳۲۲/۹۱	۳	۲۷۷۴/۳۰	۲۳/۴۶	۰/۰۰۱	۰/۶۸۱
	tDCS بینایی	۶۹۲۲/۹۱	۳	۲۳۰۷/۶۳	۹/۱۱	۰/۰۰۱	۰/۴۵۳
	tDCS ساختگی	۵۵۰/۰۰	۳	۱۸۳/۳۳	۰/۸۱	۰/۴۹	۰/۰۶۹
	کنترل	۵۲۲/۹۱	۳	۱۷۴/۳۰	۰/۳۹	۰/۷۵	۰/۰۳۵

جدول ۴- یافته‌های مربوط به آزمون تحلیل واریانس یک‌راهه برای مقایسه متغیرهای تحقیق در هر یک از مراحل تمرینی

متغیر	مراحل	مجموع مجذورات	درجهٔ آزادی	میانگین مجذورات	مقدار F	سطح معنی‌داری	اندازه اثر
حافظهٔ کاری	پیش‌آزمون	۰/۸۳۳	۳	۰/۲۷۸	۰/۴۳۹	۰/۷۲۶	۰/۰۲۹
	پس‌آزمون	۳۸/۷۲۹	۳	۱۲/۹۱۰	۱۳/۱۳۴	۰/۰۰۱*	۰/۴۷۲
	پیگیری کوتاه‌مدت	۳۶/۶۶۷	۳	۱۲/۲۲۲	۱۳/۴۴۴	۰/۰۰۱*	۰/۴۷۸
	پیگیری بلندمدت	۲۸/۰۸۳	۳	۹/۳۶۱	۸/۹۸۷	۰/۰۰۱*	۰/۳۸۰
پرتاب و دریافت کردن	پیش‌آزمون	۵۸۳/۳۳۳	۳	۱۹۴/۴۴۴	۰/۶۳۹	۰/۵۹۴	۰/۰۴۲
	پس‌آزمون	۱۴۸۳۳/۳۳۳	۳	۴۹۴۴/۴۴۴	۲۱/۴۶۹	۰/۰۰۱*	۰/۵۹۴
	پیگیری کوتاه‌مدت	۱۳۱۰۶/۲۵۰	۳	۴۳۶۸/۷۵۰	۱۲/۸۶۵	۰/۰۰۱*	۰/۴۶۷
	پیگیری بلندمدت	۹۶۶۶/۶۶۷	۳	۳۲۲۲/۲۲۲	۱۵/۹۳۰	۰/۰۰۱*	۰/۵۲۱

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2026-11-02]
[DOI: 10.52547/shefa.10.3.1]

نتایج جدول ۴ نشان داد که در مرحله پس‌آزمون، بین اثر تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز از قشر بینایی و حرکتی بر حافظه کاری کودکان دچار اختلال هماهنگی رشدی تفاوت معنی‌داری وجود دارد (۰/۴۷۲= η^2، sig=۰/۰۰۱، F=۱۳/۱۳۴). نتایج آزمون توکی نشان داد که در مرحله پس‌آزمون بین تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز از قشر حرکتی با تحریک ساختگی (P= ۰/۰۰۱)، با اختلاف میانگین ۱/۸۳) و گروه کنترل (P= ۰/۰۰۱)، با اختلاف میانگین ۱/۹۱) تفاوت معنی‌داری وجود دارد. همچنین بین تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز از قشر بینایی با تحریک ساختگی (P= ۰/۰۰۱)، با اختلاف میانگین ۱/۶۶) و گروه کنترل (P= ۰/۰۰۱)، با اختلاف میانگین ۱/۷۵) تفاوت معنی‌داری وجود دارد؛ اما بین اثر تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز از قشر بینایی و قشر حرکتی در حافظه کاری کودکان دچار اختلال هماهنگی رشدی تفاوت معنی‌داری وجود ندارد (P= ۰/۹۷۶). دیگر نتایج جدول ۴ نشان داد که در مرحله پیگیری کوتاه‌مدت، بین اثر تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز از قشر بینایی و حرکتی بر حافظه کاری فضایی کودکان دچار اختلال هماهنگی رشدی تفاوت معنی‌داری وجود دارد (η^2=۰/۴۷۸، sig=۰/۰۰۱، F=۱۳/۴۴۴). نتایج آزمون توکی نشان داد که در مرحله پیگیری کوتاه‌مدت، بین تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز از قشر حرکتی با تحریک ساختگی (P=۰/۰۰۱)، با اختلاف میانگین ۲/۱۶) و گروه کنترل (P=۰/۰۰۱)، با اختلاف میانگین ۱/۸۳) تفاوت معنی‌داری وجود دارد. همچنین بین تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز از قشر بینایی با تحریک ساختگی (P=۰/۰۰۲)، با اختلاف میانگین ۱/۵۰) و گروه کنترل (P=۰/۰۲۲)، با اختلاف میانگین ۱/۱۶) تفاوت معنی‌داری وجود دارد؛ اما بین اثر تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز از قشر بینایی و قشر حرکتی در حافظه کاری کودکان دچار اختلال هماهنگی رشدی تفاوت معنی‌داری وجود ندارد (P=۰/۳۲۹). علاوه بر این، دیگر نتایج جدول ۴ نشان داد که در مرحله پیگیری بلندمدت، بین اثر تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز از قشر بینایی و حرکتی بر حافظه کاری کودکان دچار اختلال هماهنگی رشدی تفاوت معنی‌داری وجود دارد (η^2=۰/۳۸۰، sig=۰/۰۰۱، F=۸/۹۸۷). نتایج آزمون توکی نشان داد که در مرحله پیگیری کوتاه‌مدت بین تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز از قشر حرکتی با تحریک ساختگی (P=۰/۰۰۱)، با اختلاف میانگین ۱/۶۶) و گروه کنترل (P=۰/۰۰۱)، با اختلاف میانگین ۱/۷۵) تفاوت معنی‌داری وجود دارد. همچنین بین تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز از قشر بینایی با تحریک ساختگی (P=۰/۰۲۲)، با اختلاف میانگین ۱/۲۵) و گروه کنترل (P=۰/۰۱۳)، با اختلاف میانگین ۱/۳۳) تفاوت معنی‌داری وجود دارد؛ اما بین اثر تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز از قشر بینایی و قشر حرکتی در حافظه کاری کودکان دچار اختلال هماهنگی رشدی تفاوت معنی‌داری وجود ندارد (P=۰/۷۵۰). دیگر نتایج جدول ۴ نشان داد که در مرحله پس‌آزمون، بین اثر تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز از قشر بینایی و حرکتی بر مهارت پرتاب کردن و دریافت کردن کودکان دچار اختلال هماهنگی رشدی تفاوت معنی‌داری وجود دارد (η^2=۰/۵۹۴، sig=۰/۰۰۱، F=۲۱/۴۶۹). نتایج آزمون توکی نشان داد که در مرحله پس‌آزمون بین تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز از قشر حرکتی با تحریک ساختگی (P=۰/۰۰۱)، با اختلاف میانگین ۳۵/۰۰) و گروه کنترل (P=۰/۰۰۱)، با اختلاف میانگین ۳۸/۳۳) تفاوت معنی‌داری وجود دارد. همچنین بین تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز از قشر بینایی با تحریک ساختگی (P=۰/۰۰۱)، با اختلاف میانگین ۳۱/۶۶) و گروه کنترل (P=۰/۰۰۱)، با اختلاف میانگین ۳۵/۰۰) تفاوت معنی‌داری وجود دارد؛ اما بین اثر تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز از قشر بینایی و قشر حرکتی در مهارت پرتاب کردن و دریافت کردن کودکان دچار اختلال هماهنگی رشدی تفاوت معنی‌داری وجود ندارد (P=۰/۹۴۹). همچنین، دیگر نتایج جدول ۴ نشان داد که در مرحله پیگیری کوتاه‌مدت، بین اثر تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز از قشر بینایی و حرکتی بر مهارت پرتاب کردن و دریافت کردن کودکان دچار اختلال هماهنگی رشدی، تفاوت معنی‌داری وجود دارد (η^2=۰/۴۶۷، sig=۰/۰۰۱، F=۱۲/۸۶۵). نتایج آزمون توکی نشان داد که در مرحله پیگیری کوتاه‌مدت بین تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز از قشر حرکتی با تحریک ساختگی (P=۰/۰۰۱)، با اختلاف میانگین ۳۵/۰۰) و گروه کنترل (P=۰/۰۰۱)، با اختلاف میانگین ۳۰/۸۳) تفاوت معنی‌داری وجود دارد. همچنین بین تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز از قشر بینایی با تحریک ساختگی (P=۰/۰۰۱)، با اختلاف میانگین ۳۵/۰۰) و گروه کنترل (P=۰/۰۰۱)، با اختلاف میانگین ۳۰/۸۳) تفاوت معنی‌داری وجود دارد؛ اما بین اثر تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز از قشر بینایی و قشر حرکتی در مهارت پرتاب کردن و دریافت کودکان دچار اختلال هماهنگی رشدی تفاوت معنی‌داری وجود ندارد (P=۰/۰۰۱). علاوه بر این، دیگر نتایج جدول ۴ نشان داد که در مرحله پیگیری بلندمدت، بین اثر تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز از

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2026-11-02]
[DOI: 10.52547/shefa.10.3.1]

قشر بینایی و حرکتی بر مهارت پرتاب کردن و دریافت کردن کودکان دچار اختلال هماهنگی رشدی تفاوت معنی‌داری وجود دارد (η^2=۰/۵۲۱، sig=۰/۰۰۱، F=۱۵/۹۳۰). نتایج آزمون توکی نشان داد که در مرحله پیگیری بلندمدت بین تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز از قشر حرکتی با تحریک ساختگی (P=۰/۰۰۱، با اختلاف میانگین ۲۸/۳۳) و گروه کنترل (P=۰/۰۰۱، با اختلاف میانگین ۲۶/۶۶) تفاوت معنی‌داری وجود دارد. همچنین بین تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز از قشر بینایی با تحریک ساختگی (P=۰/۰۰۱، با اختلاف میانگین ۳۰/۰۰) و گروه کنترل (P=۰/۰۰۰۱، با اختلاف میانگین ۲۸/۳۳) تفاوت معنی‌داری وجود دارد؛ اما بین اثر تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز از قشر بینایی و قشر حرکتی در مهارت پرتاب کردن و دریافت کودکان دچار اختلال هماهنگی رشدی تفاوت معنی‌داری وجود ندارد (P=۰/۹۹۲).

بحث و نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر با هدف مقایسه اثر tDCS قشر بینایی و قشر حرکتی بر عملکرد و حافظه کاری کودکان DCD انجام گرفت. نتایج مطالعه حاضر از ۳ جهت قابل بررسی می‌باشد. اول اینکه نتایج مطالعه حاضر نشان داد که tDCS قشر بینایی بر بهبود مهارت حافظه کاری و عملکرد پرتاب کردن و دریافت کردن کودکان DCD تأثیر معنی‌داری دارد. این یافته با یافته مطالعه هریس و همکاران (۲۰۱۹) ناهمخوان است (۲۳). هریس و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که تحریک قشر بینایی بر عملکرد و توجه دیداری حرکتی (چشم ساکن) پات گلف تأثیر معنی‌داری ندارد. از دلایل ناهمخوانی می‌توان به تعداد جلسات تحریک اشاره کرد که در مطالعه هریس و همکاران (۲۰۱۹) یک جلسه تحریک بود؛ ولی در مطالعه حاضر ۵ جلسه تحریک بود؛ اما در این زمینه، آنتال[17] و همکاران (۲۰۰۸، ۲۰۰۴) دریافتند که tDCS بر قشر بینایی عملکرد تکالیف ردیابی دیداری-حرکتی و ادراک حرکت را چه در حین و بلافاصله پس از تحریک بهبود می‌بخشد (۳۷، ۳۶). از آنجا که تیزبینی با عملکرد دیداری-حرکتی مرتبط است، فرض بر این است که تحریک V1، به‌عنوان یک منطقه اصلی برای پردازش اطلاعات دیداری، می‌تواند عملکرد را نیز بهبود بخشد. تحریک نواحی بینایی اولیه (V5) قبلاً هماهنگی دیداری حرکتی را افزایش داده است (۳۷) و تحریک V1 طیف وسیعی از تأثیرات را در اصلاح ادراک دیداری نشان داده است (۳۸، ۳۶). دوم اینکه نتایج مطالعه حاضر نشان داد که tDCS قشر حرکتی بر بهبود مهارت حافظه کاری و عملکرد پرتاب کردن و دریافت کردن کودکان DCD تأثیر معنی‌داری دارد. این یافته به‌طور غیرمستقیم با یافته‌های مطالعات سیدل-مرزی و راجرت[18]، ۲۰۲۰؛ گوان[19] و همکاران، ۲۰۲۰؛ کی[20] و همکاران، ۲۰۱۹؛ فرامواندو[21] و همکاران، ۲۰۲۱؛ آسکوندی[22] و همکاران، ۲۰۲۱ همخوان است (۲۱-۱۷)؛ اما این یافته به‌طور مستقیم با یافته هریس و همکاران، ۲۰۱۹) ناهمخوان می‌باشد (۲۳). هریس و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که تحریک قشر حرکتی و ناحیه فرونتال، بر عملکرد و توجه دیداری حرکتی ضربه پات گلف تأثیر معنی‌داری ندارد. از دلایل ناهمخوانی می‌توان به تعداد جلسات تحریک اشاره کرد که در مطالعه هریس و همکاران (۲۰۱۹) یک جلسه تحریک بود؛ ولی در مطالعه حاضر ۵ جلسه تحریک بود. در بحث تأثیرگذاری این تمرینات، می‌توان استدلال نمود که تحریک الکتریکی مغز بر روی نواحی قشر حرکتی مغز، سطح تحریک‌پذیری سلول‌های مغزی را افزایش داده، فرایند انعطاف‌پذیری عصبی را تسریع نموده و منجر به بهبود فرایند یادگیری حرکتی می‌گردد (۴۰, ۳۹). علاوه بر این، به هنگام یادگیری حرکتی تغییرات کارکردی و ساختاری‌ای در برخی شبکه‌های عصبی مانند: M1 و DLPFC به وجود می‌آید و روابط رفتاری و عصبی مربوط به یادگیری حرکتی را تغییر می‌دهد (۴۱) و پیشنهاد می‌شود که تأثیرات سودمند تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای روی یادگیری حرکتی به تقویت این شبکه‌های عصبی و بهبود تغییرات فیزیولوژیکی-سلولی که همراه با تمرین اتفاق می‌افتد، مربوط شود. به‌ویژه اینکه می‌تواند باعث کاهش میزان ناقلین عصبی بازدارنده (مانند گاما آمینوبوتیریک اسید) و یا افزایش ناقلین عصبی تحریک شده و با بهبود پارامترهایی که تحریک‌پذیری قشر حرکتی را افزایش می‌دهد، عملکرد و یادگیری حرکتی را تسهیل کند (۴۰). آخرین اثر احتمالی تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای تأثیرات مثبت تحریک به‌علت بهبود فرایندهای کدگذاری در حافظه حرکتی در قشر حرکتی اولیه می‌باشد که از اثرات مهم تمرین به هنگام یادگیری حرکتی می‌باشد (۴۲). سومین بخش از یافته‌های مطالعه حاضر در مورد ماندگاری کوتاه‌مدت و بلندمدت حافظه کاری و مهارت پرتاب و دریافت کودکان DCD در اثر tDCS بینایی و حرکتی بود. در این ارتباط، باچ[23] و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای مروری به بررسی ادبیات منتشر شده در این مورد پرداختند که آیا tDCS می‌تواند اکتساب، یادداری یا انطباق‌پذیری مهارت‌های حرکتی را تسهیل نماید (۱۳). در این مورد، ادبیات منتشر شده، اگرچه دارای نتایج ضد و نقیض می‌باشد؛ اما تقریباً نتایج از نقش tDCS بر اکتساب مهارت‌های حرکتی حمایت

[17] Antal
[18] Seidel-Marzi O, Ragert
[19] Gowan
[20] Ke
[21] Framorando
[22] Assecondi
[23] Buch

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2026-11-02]
[DOI: 10.52547/shefa.10.3.1]

می‌کنند؛ اما در مورد یادداری و به‌خصوص یادداری بلندمدت نقش tDCS همچنان نامعلوم می‌باشد. این علت ناهمخوانی می‌تواند به‌دلیل مدت زمان تایم اندازه‌گیری آزمون یادداری می‌باشد. در مطالعه مولرو-چامیزو[24] و همکاران (۲۰۱۸) و باچ و همکاران (۲۰۱۷)، یادداری بلندمدت بعد از سه روز بررسی گردید؛ در صورتی که در تحقیق حاضر بعد از ۶ هفته بررسی گردید (۲۶، ۱۳). اما در مطالعه‌ای همخوان، با استفاده از یک تکلیف یادگیری حرکتی جدید که دارای کارکرد مبادله دقت-سرعت بالا بود، ریس[25] و همکاران (۲۰۰۹) پیشرفت‌های زیادی با tDCS آندال در مقایسه با تحریک ساختگی را در طول پنج روز تحریک در بزرگسالان نشان دادند (۴۰). همچنین عملکرد شرکت‌کنندگان تا سه ماه پس از تحریک حفظ گردید. جالب اینجاست که این پیشرفت‌ها عمدتاً در قالب تحکیم (به اصطلاح «یادگیری آفلاین») ظاهر می‌شوند تا اثرات روزانه («یادگیری آنلاین»). به نظر می‌رسد افزایش یادگیری حرکتی در این تکلیف، به ترشح فاکتور نوروتروفیک مشتق از مغز (BDNF)[26] وابسته است؛ جایی که افراد دارای چند شکلی این پروتئین، الگوهای تغییر یافته‌ای از مهارت را نشان می‌دهند (۴۲). احتمالاً با تعدیل فعالیت گیرنده NMDA[27] که ممکن است سطح یون کلسیم پس از سیناپسی را افزایش دهد، تصور می‌شود که اثرات یادگیری حرکتی با tDCS آندال که کانال‌های کلسیم دارای ولتاژ را باز می‌کند و باعث افزایش تغییرات سیناپسی می‌شود، افزوده می‌شود. یافته‌های اخیر کرونبرگ[28] و همکاران (۲۰۱۷) نشان داد که همزمان با پروتکل‌های القایی LTP یا LTD، tDCS آنودال پتانسیل عمل را افزایش داده و اثرات افسردگی را کاهش می‌دهد.

این به‌ویژه در دندریت‌های پایه مشهود بود و مشخص شد که وابسته به NMDA است (۴۳). این یافته‌های مهم تأیید می‌کند که tDCS می‌تواند مکانیسم‌های پلاستیسیته سیناپسی را تعدیل کند. مطابق با مدل‌های پلاستیسیته Hebbian، هنگامی که یک تکلیف حرکتی به‌طور مکرر انجام می‌شود، ممکن است انعطاف‌پذیری سیناپسی در M1 رخ دهد که منجر به افزایش پایدار این مهارت می‌شود. یادگیری حرکتی حتی می‌تواند در یک دوره کوتاه از یک جلسه آموزشی تقویت شود. به‌طور کلی، نتایج مطالعه حاضر نشان داد که هم tDCS بینایی و هم tDCS قشر حرکتی بر اکتساب و ماندگاری مهارت‌های حافظه کاری و پرتاب کردن و دریافت کردن کودکان دارای اختلال هماهنگی رشدی تأثیر معنی‌داری دارد؛ اما بین tDCS قشر بینایی و حرکتی بر حافظه کاری و مهارت پرتاب و دریافت این کودکان تفاوت معنی‌داری یافت نگردید. نتایج به‌دست آمده در تحقیق حاضر، بر اهمیت تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای (tDCS) ناحیه بینایی و حرکتی بر عملکرد و حافظه کاری تأکید دارد که در نتیجه به مربیان مدارس استثنایی پیشنهاد می‌گردد که بیش از پیش به این تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای (tDCS) ناحیه بینایی و حرکتی توجه نمایند و در محیط‌های میدانی و آزمایشگاهی، برای ارتقای عملکرد و بهبود حافظه کودکان دارای اختلال هماهنگی رشدی، از فواید این تمرین بهره جویند. از آنجا که نتایج تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای (tDCS) ناحیه بینایی و حرکتی، قابلیت تکرار بر اساس پیگیری تا ۶ هفته بی‌تمرینی را داشت، بنابراین، این نتایج در راستای حفظ عملکرد و حافظه کاری این کودکان کاربرد ویژه‌ای دارد.

منابع

1. American Psychiatric Association. Diagnostic and statistical manual of mental disorders, and clinical utility. LWW; 2013. p. 727-9.

2. Henderson SE, Sugden DA, Barnett AL. Movement assessment battery for children: Harcourt Assessment London; 2007.

3. Debrabant J, Gheysen F, Caeyenberghs K, Van Waelvelde H, Vingerhoets G. Neural underpinnings of impaired predictive motor timing in children with developmental coordination disorder. Research in developmental disabilities. 2013; 34(5): 1478-87.

4. Pangelinan MM, Hatfield BD, Clark JE. Differences in movement-related cortical activation patterns underlying motor performance in children with and without developmental coordination disorder. Journal of neurophysiology. 2013; 109(12): 3041-50.

5. Licari MK, Billington J, Reid SL, Wann JP, Elliott CM, Winsor AM, et al. Cortical functioning in children with developmental coordination disorder: a motor overflow study. Experimental brain research. 2015; 233(6): 1703-10.

6. Wilson PH, Smits-Engelsman B, Caeyenberghs K, Steenbergen B, Sugden D, Clark J, et al. Cognitive and neuroimaging findings in developmental coordination disorder: new insights from a systematic review of recent research. Developmental Medicine & Child Neurology. 2017; 59(11): 1117-29.

7. Missiuna C, Rivard L, Campbell W. Developmental coordination disorder. Handbook of DSM-5 disorders in children and adolescents: Springer; 2017. p. 431-50.

[24] Molero-Chamizo
[25] Reis
[26] Brain Derived Neurotrophic Factor
[27] N-methyl-D-aspartate
[28] Kronberg

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2026-11-02]
[DOI: 10.52547/shefa.10.3.1]

8. Gomez A, Sirigu A. Developmental coordination disorder: core sensori-motor deficits, neurobiology and etiology. Neuropsychologia. 2015; 79: 272-87.

9. Piek JP, Dyck MJ. Sensory-motor deficits in children with developmental coordination disorder, attention deficit hyperactivity disorder and autistic disorder. Human movement science. 2004; 23(3-4): 475-88.

10. Banissy MJ, Muggleton NG. Transcranial direct current stimulation in sports training: potential approaches. Frontiers in human neuroscience. 2013; 7:129.

11. Ohn SH, Park C-I, Yoo W-K, Ko M-H, Choi KP, Kim G-M, et al. Time-dependent effect of transcranial direct current stimulation on the enhancement of working memory. Neuroreport. 2008; 19(1): 43-7.

12. Sadock BJ, Sadock VA, Kaplan HI. Kaplan and Sadock's concise textbook of child and adolescent psychiatry: Lippincott Williams & Wilkins; 2009.

13. Buch ER, Santarnecchi E, Antal A, Born J, Celnik PA, Classen J, et al. Effects of tDCS on motor learning and memory formation: a consensus and critical position paper. Clinical Neurophysiology. 2017; 128(4): 589-603.

14. Ballard HK, Goen JR, Maldonado T, Bernard JA. Effects of cerebellar transcranial direct current stimulation on the cognitive stage of sequence learning. Journal of neurophysiology. 2019; 122(2): 490-9.

15. Nemanich ST, Rich TL, Gordon AM, Friel KM, Gillick BT. Bimanual skill learning after transcranial direct current stimulation in children with unilateral cerebral palsy: a brief report. Developmental neurorehabilitation. 2019; 22(7): 504-8.

16. Kumari N, Taylor D, Rashid U, Vandal AC, Smith PF, Signal N. Cerebellar transcranial direct current stimulation for learning a novel split-belt treadmill task: A randomised controlled trial. Scientific reports. 2020 Jul 16; 10(1): 1-4.

17. Seidel-Marzi O, Ragert P. Neurodiagnostics in sports: Investigating the Athlete's brain to augment performance and sport-specific skills. Frontiers in human neuroscience. 2020; 14:133.

18. Gowan S, Hordacre B. Transcranial Direct Current Stimulation to Facilitate Lower Limb Recovery Following Stroke: Current Evidence and Future Directions. Brain sciences. 2020; 10(5): 310.

19. Ke Y, Wang N, Du J, Kong L, Liu S, Xu M, et al. The effects of transcranial direct current stimulation (tDCS) on working memory training in healthy young adults. Frontiers in human neuroscience. 2019; 13:19.

20. Framorando D, Cai T, Wang Y, Pegna AJ. Effects of Transcranial Direct Current Stimulation on effort during a working-memory task. Scientific Reports. 2021; 11(1): 1-9.

21. Assecondi S, Hu R, Eskes G, Pan X, Zhou J, Shapiro K. Impact of tDCS on working memory training is enhanced by strategy instructions in individuals with low working memory capacity. Scientific reports. 2021; 11(1): 1-11.

22. Fregni F, Boggio PS, Nitsche M, Bermpohl F, Antal A, Feredoes E, et al. Anodal transcranial direct current stimulation of prefrontal cortex enhances working memory. Experimental brain research. 2005; 166(1): 23-30.

23. Harris DJ, Wilson MR, Buckingham G, Vine SJ. No effect of transcranial direct current stimulation of frontal, motor or visual cortex on performance of a self-paced visuomotor skill. Psychology of Sport and Exercise. 2019; 43: 368-73.

24. Ferreira IS, Costa BT, Ramos CL, Lucena P, Thibaut A, Fregni F. Searching for the optimal tDCS target for motor rehabilitation. Journal of neuroengineering and rehabilitation. 2019; 16(1): 1-12.

25. Newell KM. Coordination, control and skill. Advances in psychology. 27: Elsevier; 1985. p. 295-317.

26. Molero-Chamizo A, Bailén JRA, Béjar TG, López MG, Rodríguez IJ, Lérida CG, et al. Poststimulation time interval-dependent effects of motor cortex anodal tDCS on reaction-time task performance. Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience. 2018; 18(1): 167-75.

27. Pixa NH, Steinberg F, Doppelmayr M. High-definition transcranial direct current stimulation to both primary motor cortices improves unimanual and bimanual dexterity. Neuroscience letters. 2017; 643:84-8.

28. Ciechanski P, Kirton A. Transcranial direct-current stimulation can enhance motor learning in children. Cerebral cortex. 2017; 27(5): 2758-67.

29. Gomes-Osman J, Field-Fote EC. Bihemispheric anodal corticomotor stimulation using transcranial direct current stimulation improves bimanual typing task performance. Journal of motor behavior. 2013; 45(4): 361-7.

30. Grohs MN, Craig BT, Kirton A, Dewey D. Effects of transcranial direct current stimulation on motor function in children 8–12 years with developmental coordination disorder: A randomized controlled trial. Frontiers in Human Neuroscience. 2020; 14:608131.

31. Hillier S, McIntyre A, Plummer L. Aquatic physical therapy for children with developmental coordination disorder: A pilot randomized controlled trial. Physical & occupational therapy in pediatrics. 2010; 30(2): 111-24.

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.52547/shefa.10.3.1]

32. Jeon SY, Han SJ. Improvement of the working memory and naming by transcranial direct current stimulation. Annals of rehabilitation medicine. 2012; 36(5): 585.

33. Tseng P, Hsu T-Y, Chang C-F, Tzeng OJ, Hung DL, Muggleton NG, et al. Unleashing potential: transcranial direct current stimulation over the right posterior parietal cortex improves change detection in low-performing individuals. Journal of Neuroscience. 2012; 32(31): 10554-61.

34. Nitsche MA, Cohen LG, Wassermann EM, Priori A, Lang N, Antal A, et al. Transcranial direct current stimulation: state of the art 2008. Brain stimulation. 2008; 1(3): 206-23.

35. Ghotbi VA, Zarghami M, Saemi E, Maleki F. The effect of cognitive styles on accuracy: the role of working memory. journal of sport motor learning and development. 2012; 12(10): 61-78.

36. Antal A, Paulus W. Transcranial direct current stimulation and visual perception. Perception. 2008; 37(3): 367-74.

37. Antal A, Nitsche MA, Kruse W, Kincses TZ, Hoffmann K-P, Paulus W. Direct current stimulation over V5 enhances visuomotor coordination by improving motion perception in humans. Journal of cognitive neuroscience. 2004; 16(4): 521-7.

38. Spiegel DP, Hansen BC, Byblow WD, Thompson B. Anodal transcranial direct current stimulation reduces psychophysically measured surround suppression in the human visual cortex. PLoS One. 2012; 7(5): e36220.

39. Stagg CJ, Bachtiar V, Johansen-Berg H. The role of GABA in human motor learning. Current Biology. 2011; 21(6): 480-4.

40. Reis J, Schambra HM, Cohen LG, Buch ER, Fritsch B, Zarahn E, et al. Noninvasive cortical stimulation enhances motor skill acquisition over multiple days through an effect on consolidation. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2009; 106(5): 1590-5.

41. Ungerleider LG, Doyon J, Karni A. Imaging brain plasticity during motor skill learning. Neurobiology of learning and memory. 2002; 78(3): 553-64.

42. Fritsch B, Reis J, Martinowich K, Schambra HM, Ji Y, Cohen LG, et al. Direct current stimulation promotes BDNF-dependent synaptic plasticity: potential implications for motor learning. Neuron. 2010; 66(2): 198-204.

43. Kronberg G, Bridi M, Abel T, Bikson M, Parra LC. Direct current stimulation modulates LTP and LTD: activity dependence and dendritic effects. Brain stimulation. 2017; 10(1): 51-8.

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.52547/shefa.10.3.1]