

اثر تحریک الکتریکی مستقیم فراججمه‌ای (tDCS) قشر بینایی بر اکتساب و ماندگاری عملکرد حرکتی و حافظه کاری کودکان دارای اختلال هماهنگی رشدی

فریبا جزینی^{۱*}، محمود شیخ^۲

۱. کارشناسی ارشد تربیت بدنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲. دانشیار رفتار حرکتی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۰۶

دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۰

The Effect of Transcranial Direct Electrical Stimulation (tDCS) of the Visual Cortex on the Acquisition and Persistence of Motor Performance and Working Memory in Children with Developmental Coordination Disorders

Fariba Jazini^{1*}, Mahmood Sheikh²

1. M.A. in Physical Education, University of Tehran, Tehran, Iran

2. Associate Professor of Movement Behavior, University of Tehran, Tehran, Iran

Received: 2022/01/10

Accepted: 2022/08/28

10.30473/clpsy.2022.62493.1648

Abstract

The purpose of the current study was to examine the effect of transcranial direct electrical stimulation (tDCS) of the visual cortex on the acquisition and persistence of motor performance and working memory in children with developmental coordination disorders. In semi-experimental study with pre-test-post-test research plan and follow-up period of 1 and 42 days, 24 children with developmental coordination disorder were randomly selected, and randomly assigned to 2 groups of 12 tDCS visual cortex and sham stimulation. 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 from the visual cortex (Oz anode and Cz cathode) and sham stimulation was performed. Participants performed 3 working memory tests and 10 throwing and catching skills. In the last session, 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. Data were analyzed with mixed analysis. The results showed that tDCS of the visual cortex significantly improved working memory and motor performance in children with developmental coordination disorders. Other results indicated the persistence of working memory and motor performance in children with developmental coordination disorders in short-term and long-term follow-up tests. In general, the results of the present study emphasize the effectiveness of tDCS in the vision area on motor performance and working memory in DCD children.

Keywords: Electrical Stimulation, Vision, Motor Performance, Working Memory, Persistence.

چکیده

مطالعه حاضر با هدف اثر تحریک الکتریکی مستقیم فراججمه‌ای (tDCS) قشر بینایی بر اکتساب و ماندگاری عملکرد حرکتی و حافظه کاری کودکان دارای اختلال هماهنگی رشدی انجام گرفت. در این مطالعه نیمه‌تجربی، با طرح تحقیق پیش‌آزمون-پس‌آزمون و دوره پیگیری ۱ و ۴۲ روزه، ۲۴ کودک دارای اختلال هماهنگی رشدی به‌صورت در دسترس انتخاب و به‌صورت تصادفی در ۲ گروه ۱۲ نفری تمرینات tDCS ناحیه بینایی و تحریک ساختگی 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 که در هر روز، ابتدا تحریک الکتریکی مغز از قشر بینایی (آند Oz و کاتد Cz) و تحریک ساختگی انجام می‌گرفت و سپس 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 کوتاه‌مدت و بلندمدت انجام گرفت. داده‌ها به روش تحلیل واریانس مرکب تحلیل شد. نتایج نشان داد که تحریک الکتریکی فراججمه‌ای قشر بینایی، باعث بهبود معنی‌دار حافظه کاری و عملکرد حرکتی کودکان با اختلال هماهنگی رشدی گردید. دیگر نتایج، حاکی از ماندگاری حافظه کاری و عملکرد حرکتی کودکان دارای اختلال هماهنگی رشدی در آزمون‌های پیگیری کوتاه‌مدت و بلندمدت بود. به‌طور کلی، نتایج مطالعه حاضر بر اثربخشی تمرینات tDCS ناحیه بینایی، بر عملکرد و حافظه کاری کودکان اختلال هماهنگی رشدی تأکید دارد.

کلیدواژه‌ها: تحریک الکتریکی، قشر بینایی، عملکرد حرکتی، حافظه کاری، ماندگاری.

*Corresponding Author: Fariba Jazini

Email: faribajazini@yahoo.com

* نویسنده مسئول: فریبا جزینی

مقدمه

اختلال هماهنگی رشدی (DCD)، ۵ تا ۶ درصد از کودکان مدرسه‌ای را تحت تأثیر قرار می‌دهد و با شروع زود هنگام اختلال حرکتی مشخص می‌شود که به صورت ناشیانه، آهسته و نادرست انجام تکالیف حرکتی ظاهر می‌شود (انجمن روان‌پزشکی آمریکا، ۲۰۱۳). کاهش تبحر حرکتی با فعالیت‌های زندگی روزمره تداخل می‌کند (انجمن روان‌پزشکی آمریکا، ۲۰۱۳) که تهدیدی برای سواد بدنی و سلامت روان کودکان آسیب‌دیده است (کاستلی و همکاران، ۲۰۱۴؛ هاروول و همکاران، ۲۰۱۸؛ بلنک و همکاران، ۲۰۱۹). علاوه بر اختلال در اجرای حرکتی، کودکان مبتلا به DCD ممکن است در یادگیری مهارت‌ها و یا تکالیف حرکتی جدید نیز دچار مشکل شوند (بو و لی، ۲۰۱۳؛ گومز و سیریگو، ۲۰۱۵؛ بیوتو و همکاران، ۲۰۱۶a). همچنین، 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 (لیکاری و همکاران، ۲۰۱۵). این ممکن است به دلیل تخصیص تعداد متفاوتی از منابع شناختی به حافظه دیداری - فضایی در طول فرایند اجرای حرکات باشد (دبرابانت و همکاران، ۲۰۱۳). کودکان مبتلا به DCD، تشویق می‌شوند تا تکالیفی را که برایشان دشوار است، تمرین کنند؛ به این امید که تکرار حرکت، باعث بهبود عملکرد شود (لواک و همکاران، ۲۰۰۹؛ اسمیتز-انگلسمن و همکاران، ۲۰۱۳؛ بلنک و همکاران، ۲۰۱۹). اگرچه موفقیت‌ها با تمرین گزارش شده‌اند؛ اما بهبودها اغلب متغیر هستند و معمولاً با تمرین فشرده مشاهده می‌شوند (اسمیتز-انگلسمن و همکاران، ۲۰۱۳؛ جان و همکاران، ۲۰۱۸). نیاز به دوزهای بالای تکرار را می‌توان به نرخ آهسته‌تر یادگیری حرکتی در کودکان مبتلا به DCD نسبت داد (جان و همکاران، ۲۰۱۸؛ بیوتو و همکاران، ۲۰۱۶b). با این حال، چنین مداخله‌هایی ممکن است برای اکثر کودکان بی‌خطر باشد و نیاز به مداخلات کارآمدتر را برجسته کند.

استفاده از تحریک جریان مستقیم فراجمله‌ای مغز (tDCS)، شکلی از تحریک غیرتهاجمی مغز، در توانبخشی حرکتی به سرعت در حال گسترش است (پالم و همکاران،

۲۰۱۶؛ بیکسون و همکاران، ۲۰۱۶). TDCS، از طریق اعمال جریان الکتریکی زیرآستانه (۱-۲ میلی‌آمپر)، تحریک‌پذیری و خودانگیختگی نورون‌ها را تغییر می‌دهد و مکانیسم‌های درون‌زا عصبی پلاستیسیته مغز را تسهیل می‌کند (استاگ و نیپچه، ۲۰۱۱؛ کروبرگ و همکاران، ۲۰۱۷). هنگامی که با آموزش مهارت‌های حرکتی همراه شود، tDCS چند جلسه‌ای برای تقویت یادگیری حرکتی در بزرگسالان (ریس و همکاران، ۲۰۰۹)، معمولاً کودکان در حال رشد (سیچانسکی و کرتون، ۲۰۱۷؛ کول و همکاران، ۲۰۱۸) و کودکان دارای اختلال حرکتی مانند فلج مغزی (سالم و همکاران، ۲۰۱۹؛ گروس و همکاران، ۲۰۱۹؛ فینسیگورا و همکاران، ۲۰۱۹) نشان داده شده است. همچنین در مورد حافظه کاری، تأثیر tDCS در بزرگسالان سالم (کی و همکاران، ۲۰۱۹؛ فراموراندو و همکاران، ۲۰۲۱؛ آسکوندی و همکاران، ۲۰۲۱) و کودکان دارای اختلال هماهنگی رشدی (شکره و حسینی، ۱۳۹۸)، نشان داده شده است. بررسی‌های اخیر، تحقیقات رو به رشدی را که پتانسیل درمانی tDCS را در کودکان مبتلا به اختلالات عصبی رشدی بررسی می‌کنند، برجسته می‌کند (سالم و همکاران، ۲۰۱۹؛ گروس و همکاران، ۲۰۱۹؛ فینسیگورا و همکاران، ۲۰۱۹). شواهد اولیه، از بهبود عملکرد حرکتی tDCS در تعادل، راه رفتن، عملکرد دست، زمان واکنش و کنترل بازدارنده حمایت کرده است. ایمنی tDCS در بزرگسالان (بیکسون و همکاران، ۲۰۱۶) و کودکان (زودی و همکاران، ۲۰۲۰) به خوبی تثبیت شده است.

برخلاف شواهد قبلی مبنی بر افزایش یادگیری حرکتی tDCS در کودکان معمولاً در حال رشد (سیچانسکی و کرتون، ۲۰۱۷؛ کول و همکاران، ۲۰۱۸) و کودکان دارای اختلال حرکتی (به‌عنوان مثال، فلج مغزی) (گروس و همکاران، ۲۰۱۹)، tDCS تأثیری بر یادگیری حرکتی در کودکان مبتلا به DCD را نشان نداد (گروس و همکاران، ۲۰۲۰). کارایی محدود tDCS می‌تواند منعکس‌کننده پارامترهای تحریک از جمله هدف قشر مغز یا مونتاژ (به‌عنوان مثال، آرایش آند و کاتد) باشد (وود و مارتین، ۲۰۱۶). در این مورد، می‌توان اظهار کرد که اگرچه قشر حرکتی یک هدف رایج برای تعدیل یادگیری حرکتی به دلیل نقش مستقیم آن در تولید حرکتی است (تودوروف، ۲۰۰۳)، ساختارهای دیگر ممکن است برای جمعیت DCD مناسب‌تر باشند.

پیگیری‌های کوتاه مدت و بلند مدت ضروری دارد تا مشخص شود که اثر تحریک tDCS تا چقدر (کوتاه مدت و بلند مدت) ماندگار می‌باشد. بنابراین با توجه به اهمیت tDCS در یادگیری مهارت‌های حرکتی و با توجه به تناقضات موجود در مطالعات پیشین در مورد ماندگاری اثرات این تحریک در کودکان اختلال هماهنگی رشدی، محقق در این تحقیق، درصدد است تا به اثر تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای (tDCS) قشر بینایی بر اکتساب و ماندگاری عملکرد حرکتی و حافظه کاری کودکان دارای اختلال هماهنگی رشدی بپردازد.

روش‌شناسی تحقیق

پژوهش حاضر، با توجه به اهداف پیش‌بینی شده، از نوع پژوهش‌های نیمه‌تجربی و به لحاظ استفاده از نتایج به‌دست آمده، کاربردی بود. طرح پژوهش به‌صورت پیش‌آزمون-پس‌آزمون با دوره پیگیری (پیگیری یک روزه و پیگیری ۶ هفته‌ای (گروس و همکاران، ۲۰۲۰)) بود. جامعه آماری پژوهش حاضر، کودکان دختر دارای اختلال هماهنگی رشدی ۷ تا ۱۰ ساله (مرکز بهزیستی و توبخشی خوراسگان اصفهان بودند. شرکت‌کنندگان مطالعه حاضر، ۲۴ کودک دختر دارای اختلال هماهنگی رشدی ۷ تا ۱۰ ساله (با میانگین سنی ۸/۳۹ سال و انحراف معیار ۱/۱۱) بودند که با توجه به سطح آسیب یکسان گزارش شده در پرونده موجود آن‌ها در مرکز، به‌صورت در دسترس و هدفمند انتخاب گردیدند. 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) و پرسشنامه تکمیل شده توسط والدین (در زمینه‌های حرکتی، اجتماعی و تحصیلی) تأیید شدند، همچنین وضعیت پزشکی آن‌ها توسط دکتر روانشناس بالینی و مدرس که دارای مجوز سازمان نظام روانشناسی است، تأیید شد. انتخاب این تعداد نمونه بر اساس نرم‌افزار جی‌پاور (Power * G نسخه ۳,۱,۹,۴) با استفاده از آلفای ۵ درصد، بتای ۹۵ درصد و اندازه اثر ۰/۳ بر اساس مقادیر از مطالعاتی که قبلاً انجام شده بود، اقتباس گردید. شرکت‌کنندگان به‌صورت تصادفی در دو گروه قشر بینایی و گروه تحریک ساختگی قرار گرفتند. معیارهای ورود، شامل دختران با اختلال هماهنگی رشدی، دارا بودن سن ۷ تا ۱۰ سال، راست

با وجود هدف tDCS از تعدیل نواحی قشر مغز با استفاده از پارامترهای مختلف، برخی از مطالعات نشان داده‌اند که با تغییر تحریک قشر مغز، به دلیل ارتباط مغز بین نواحی قشر مغز و با نواحی قشر زیر مغز، میدان الکتریکی می‌تواند به ساختارهای زیر قشر مانند عقده‌های قاعده‌ای برسد (بولزونی و همکاران، ۲۰۱۳؛ داسیلوا و همکاران، ۲۰۱۲؛ پولانیا و همکاران، ۲۰۱۱). بنابراین، به دلیل این ارتباط، احتمال دارد که تحریک نواحی دیگر از جمله قشر بینایی نتایج متفاوت‌تری نسبت به قشر حرکتی در فراگیری و یادگیری مهارت‌های حرکتی داشته باشد. در این زمینه، آنتال و همکاران (۲۰۰۴، ۲۰۰۸) 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. از آنجا که تیزبینی با عملکرد دیداری- حرکتی مرتبط است (اوکونر و همکاران، ۲۰۱۰)، 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 (آنتال و همکاران، ۲۰۰۴) و تحریک V1 طیف وسیعی از تأثیرات را در اصلاح ادراک دیداری نشان داده است (آنتال و پائولوس، ۲۰۰۸؛ اسپیکل و همکاران، ۲۰۱۲). با جستجوی محقق در پایگاه‌های اطلاعاتی داخلی، اثر tDCS در مطالعات محدودی بر حافظه کاری (شکره و حسینی، ۱۳۹۸) و عملکرد حرکتی (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۹) کودکان دارای اختلال هماهنگی رشدی بررسی شده است، و اینکه مطالعات بررسی شده تحریک قشر حرکتی بوده است و مطالعه‌ای با تأثیر تحریک قشر بینایی بر عملکرد حرکتی و حافظه کاری کودکان دارای اختلال هماهنگی رشدی یافت نگردید. علاوه بر این، اگرچه تقریباً نتایج از نقش tDCS بر اکتساب عملکرد حرکتی حمایت می‌کنند؛ اما در مورد پیگیری و به خصوص پیگیری بلند مدت نقش tDCS همچنان نامعلوم می‌باشد. باچ و همکاران (۲۰۱۷) و مولرو-چامیزو و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که تحریک tDCS بر پیگیری مهارت حرکتی تأثیری ندارد، در صورتی که سیچاناسکی و کیرتون (۲۰۱۷) نشان دادند که tDCS در یادداری و ماندگاری (۳ روز) حرکتی در کودکان تأثیر دارد اما آزمون پیگیری بعد از ۶ ماه عدم ماندگاری اثر تحریک tDCS را نشان داد. بنابراین بررسی اثرات تحریک در

دست بودن و دارای دید طبیعی بود. در صورتی که آزمودنی‌ها، حداقل ۲ جلسه تمرینات مربوطه را از دست بدهند و افرادی که از لحاظ جسمانی آسیب دیدند از مشارکت در فعالیت آنها جلوگیری می‌شد. همچنین اگر آزمودنی‌ها مایل به کنار کشیدن از مطالعه بودند، از مطالعه حذف شدند. علاوه بر این، آزمودنی‌هایی که دارای زایمان زودرس (کمتر از ۳۶ هفته حاملگی) یا هرگونه اختلال عصبی، روانی و یا مزمن بودند، حذف شدند.

ابزار تحقیق

در این مطالعه، از دستگاه تحریک الکتریکی مستقیم فراجمعه‌ای (tDCS) جهت تحریک الکتریکی مغز استفاده گردید. دستگاه مورد استفاده در این پژوهش Dose Active و منبع جریان این دستگاه یک باتری 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 سانتی‌متر 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 الکتروود 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 ۷×۵ استفاده شد (جئون و هان، ۲۰۱۲). جریان ۱/۵ میلی‌آمپر به مدت ۱۵ دقیقه می‌تواند روی فاکتورهای شناختی اثر تسهیل‌کننده داشته باشد (تسنگ و همکاران، ۲۰۱۲) و یک اثر تحریکی تا ۹۰ دقیقه را ایجاد می‌کند (نیچه و پائولوس، ۲۰۰۱).

همچنین، برای اندازه‌گیری حافظه کاری، از آزمون حافظه کاری کمبریج استفاده شد. آزمون حافظه کاری، از مجموعه آزمون‌های علوم ذهنی کمبریج است که با استفاده از نرم‌افزار اجرا گردید. در آزمون حافظه کاری، شرکت‌کنندگان سعی می‌کنند تا یک سری مربع‌های رنگی را در درون یک مربع ۴×۴ به‌خاطر بسپارند. بعد از نمایش این مربع‌های رنگی، شرکت‌کنندگان، این مربع‌های رنگی را به وسیله موس کامپیوتر مشخص می‌کنند. اگر شرکت‌کننده صحیح پاسخ دهد،

در مرحله بعد، یک مربع رنگی دیگر به فهرست مربع‌های رنگی اضافه می‌شود؛ اما اگر پاسخ صحیح ندهد، در مرحله 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. علاوه بر این، تکلیف این مطالعه، شامل آزمون پرتاب کردن و گرفتن (هندرسون و همکاران، ۲۰۰۷) بود. شرکت‌کنندگان در فاصله ۲ متری از دیوار می‌ایستند و سپس یک توپ تنیس را به سمت دیوار پرتاب می‌کنند 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) (هندرسون و همکاران، ۲۰۰۷).

روش اجرا

روش گردآوری مطالعه حاضر، به روش میدانی بود. در ابتدا از والدین رضایتنامه آگاهانه کتبی کسب شد. همچنین کودکان به‌صورت 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 امیدوارکننده‌ای را به دنبال دارد و از آن می‌توان به‌عنوان روندی مؤثر سود جست (گروس و همکاران، ۲۰۲۰). در گروه تحریک الکتریکی مستقیم قشر بینایی شرکت‌کنندگان در هر روز پیش از تمرین به مدت ۲۰ دقیقه تحریک الکتریکی مغز فراجمعه‌ای قشر بینایی (آند Oz و کاتد Cz) را دریافت می‌کنند (بدین صورت که در تحریک الکتریکی آندی جریان مستقیم ۱/۵ میلی‌آمپر در

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. در جدول ۱ روند اجرا و پروتکل تحقیق ارائه شده است.

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 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. بلافاصله بعد از

جدول ۱. روند اجرا و پروتکل تحقیق

مرحله	تشریح
پیش‌آزمون	۱۰ کوشش مهارت پرتاب و دریافت و ۳ کوشش حافظه کاری
مداخله	۵ روز متوالی ۲۰ دقیقه تحریک الکتریکی (قشر بینایی (آند Oz و کاتد Cz) و تحریک ساختگی (همان الکترودها ولی جریان قطع) و سپس بعد از تحریک اجرای ۱۰ کوشش مهارت پرتاب و دریافت و ۳ کوشش حافظه کاری
پس‌آزمون	بلافاصله پس از آخرین جلسه مداخله اجرای ۱۰ کوشش مهارت پرتاب و دریافت و ۳ کوشش حافظه کاری
پیگیری کوتاه مدت	یک روز بعد از آخرین جلسه مداخله اجرای ۱۰ کوشش مهارت پرتاب و دریافت و ۳ کوشش حافظه کاری
پیگیری بلند مدت	شش هفته بعد از آخرین جلسه مداخله اجرای ۱۰ کوشش مهارت پرتاب و دریافت و ۳ کوشش حافظه کاری

یک از مراحل اندازه‌گیری بالاتر از ۰/۰۵ می‌باشد؛ بنابراین داده‌ها دارای توزیع نرمال می‌باشند.

در ادامه در جدول ۳، شاخص‌های آماری مربوط به متغیرهای تحقیق در گروه‌های مختلف ارائه شده است.

همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، تحریک ناحیه بینایی باعث تغییر قابل توجهی در نمرات عملکرد حرکتی و حافظه کاری کودکان دارای اختلال هماهنگی رشدی شده است. اما در اثر تحریک ساختگی تغییری در نمرات عملکرد حرکتی و حافظه کاری کودکان دارای اختلال هماهنگی رشدی مشاهده نمی‌شود.

برای تحلیل داده‌های این مطالعه، از آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری تکراری (۲ گروه \times ۴ مرحله اندازه‌گیری) استفاده شد.

به منظور تجزیه و تحلیل اطلاعات، از روش‌های آمار توصیفی برای محاسبه شاخص‌های مرکزی استفاده شد. از آزمون شاپیرو ویلک برای بررسی نرمال 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 نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۴ در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ انجام گرفت.

نتایج

در ابتدا با استفاده از آزمون شاپیرو- ویلک، نرمالیتی داده‌ها بررسی گردید که نتایج آن در جدول ۲ ارائه گردیده است. همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، سطح معنی‌داری هر یک از متغیرها در هر یک از گروه‌ها و در هر

جدول ۲. سطح معنی‌داری آزمون شاپیرو ویلک برای بررسی نرمالیتی داده‌های تحقیق

متغیر	گروه	پیش‌آزمون	پس‌آزمون	پیگیری کوتاه‌مدت	پیگیری بلندمدت
عملکرد حرکتی	tDCS ناحیه بینایی	۰/۶۴۱	۰/۱۲۲	۰/۱۲۸	۰/۰۸۳
	tDCS ساختگی	۰/۱۲۰	۰/۲۷۵	۰/۹۱۷	۰/۴۸۷
حافظه کاری	tDCS ناحیه بینایی	۰/۶۰۰	۰/۱۲۳	۰/۳۲۱	۰/۱۱۵
	tDCS ساختگی	۰/۶۳۱	۰/۲۰۰	۰/۰۸۱	۰/۱۰۱

جدول ۳. شاخص‌های آماری عملکرد حرکتی و حافظه کاری کودکان دارای اختلال هماهنگی رشدی در گروه‌های مختلف

متغیر	گروه	پیش‌آزمون	پس‌آزمون	پیگیری کوتاه‌مدت	پیگیری بلندمدت
عملکرد حرکتی	tDCS ناحیه بینایی	۵۲/۵۰±۱۶/۰۲	۸۱/۶۶±۱۶/۹۶	۷۷/۵۰±۲۰/۵۰	۸۰/۸۳±۱۴/۴۳
	tDCS ساختگی	۵۰/۰۰±۱۵/۹۵	۵۰/۰۰±۱۴/۷۷	۴۲/۵۰±۲۰/۹۴	۵۰/۸۳±۱۰/۸۳
حافظه کاری	tDCS ناحیه بینایی	۲/۲۵±۰/۶۲	۳/۶۶±۱/۰۷	۳/۳۳±۱/۰۷	۳/۵۰±۱/۳۱
	tDCS ساختگی	۲/۰۸±۰/۹۰	۲/۰۰±۰/۹۵	۱/۸۳±۰/۸۳	۲/۲۵±۰/۷۵

جدول ۴. یافته‌های مربوط به آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری تکراری برای عملکرد حرکتی و حافظه کاری

متغیر	منبع تغییرات	مجموع مجزورات	درجه آزادی	میانگین مجزورات	مقدار F	سطح معنی‌داری	مجذور اتا
عملکرد حرکتی	زمان	۳۴۱۹/۷۹	۳	۱۱۳۹/۹۳	۴/۷۶	۰/۰۰۵*	۰/۱۷
	گروه	۱۴۷۵۱/۰۴	۱	۱۴۷۵۱/۰۴	۳۸/۵۲	۰/۰۰۱*	۰/۶۳
	زمان * گروه	۴۰۵۳/۱۲	۳	۱۳۵۱/۰۴	۵/۶۴	۰/۰۰۱*	۰/۲۰
حافظه کاری	زمان	۷/۶۱	۳	۲/۵۳	۴/۱۵	۰/۰۰۶*	۰/۱۵
	گروه	۳۱/۵۱	۱	۳۱/۵۱	۷۳/۱۳	۰/۰۰۱*	۰/۷۶
	زمان * گروه	۸/۱۹	۳	۲/۷۳	۴/۵۰	۰/۰۰۱*	۰/۱۸

عملکرد پرتاب و دریافت کردن کودکان دارای اختلال هماهنگی رشدی تأثیر معنی‌داری ندارد ($\eta^2 = 0/06$ ، $F=0/81$ ، $sig=0/49$).

همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، نتایج آزمون تحلیل واریانس درون‌گروهی بر روی عامل مراحل اندازه‌گیری نشان داد که تمرین tDCS قشر بینایی باعث افزایش حافظه کاری کودکان دارای اختلال هماهنگی رشدی گردید ($\eta^2 = 0/24$ ، $sig=0/01$ ، $F=4/63$). نتایج آزمون پیگردی بنفرونی نشان داد که تمرینات tDCS قشر بینایی باعث بهبود حافظه کاری از پیش‌آزمون تا پس‌آزمون ($sig=0/001$)، پیگیری کوتاه‌مدت ($sig=0/008$) و پیگیری بلندمدت ($sig=0/012$) گردید؛ اما بین مراحل پس‌آزمون با مراحل پیگیری کوتاه‌مدت ($sig=0/54$) و پیگیری بلندمدت ($sig=0/78$) تفاوت معنی‌داری یافت نگردید که این نتایج حاکی از عدم تضعیف عملکرد شرکت‌کنندگان در آزمون‌های پیگیری بود؛ اما دیگر نتایج آزمون تحلیل واریانس درون‌گروهی برای عامل مراحل اندازه‌گیری نشان داد که tDCS ساختگی بر حافظه کاری کودکان دارای اختلال هماهنگی رشدی تأثیر معنی‌داری ندارد ($\eta^2 = 0/03$ ، $F=0/43$ ، $sig=0/73$).

بعد از بررسی تفاوت‌های درون‌گروهی به بررسی تفاوت بین گروهی در هر یک از مراحل آزمون پرداخته شد.

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، به دلیل اینکه اثر تعاملی متغیر عملکرد حرکتی ($\eta^2 = 0/20$ ، $sig=0/001$) و حافظه کاری ($\eta^2 = 0/18$ ، $F=5/64$) معنادار است، از اثرات اصلی 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 ۵ ارائه گردیده است.

همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، نتایج آزمون تحلیل واریانس درون‌گروهی بر روی عامل مراحل اندازه‌گیری نشان داد که تمرین tDCS قشر بینایی، باعث افزایش عملکرد پرتاب و دریافت کودکان دارای اختلال هماهنگی رشدی گردید ($\eta^2 = 0/45$ ، $sig=0/001$ ، $F=9/11$). نتایج آزمون پیگردی بنفرونی نشان داد که تمرینات tDCS قشر بینایی باعث بهبود عملکرد پرتاب و دریافت از پیش‌آزمون تا پس‌آزمون ($sig=0/010$)، پیگیری کوتاه‌مدت ($sig=0/012$) و پیگیری بلندمدت ($sig=0/012$) گردید؛ اما بین مراحل پس‌آزمون با مراحل پیگیری کوتاه‌مدت ($sig=1/00$) و پیگیری بلندمدت ($sig=1/00$) تفاوت معنی‌داری یافت نگردید که این نتایج، حاکی از عدم تضعیف عملکرد شرکت‌کنندگان در آزمون‌های پیگیری بود؛ اما دیگر نتایج آزمون تحلیل واریانس درون‌گروهی برای عامل مراحل اندازه‌گیری، نشان داد که tDCS ساختگی بر

جدول ۵. یافته‌های مربوط به آزمون تحلیل واریانس درون‌گروهی در هر یک از گروه‌های تمرینی برای عملکرد حرکتی و حافظه کاری

متغیر	گروه	مجموع مجزورات	درجه آزادی	میانگین مجزورات	مقدار F	سطح معنی‌داری	مجذور اتا
عملکرد حرکتی	tDCS ناحیه بینایی	۶۹۲۲/۹۱	۳	۲۳۰۷/۶۳	۹/۱۱	۰/۰۰۱	۰/۴۵
	tDCS ساختگی	۵۵۰/۰۰	۳	۱۸۳/۳۳	۰/۸۱	۰/۴۹	۰/۰۶
حافظه کاری	tDCS ناحیه بینایی	۱۴/۷۲	۳	۴/۹۱	۴/۶۳	۰/۰۱	۰/۲۴
	tDCS ساختگی	۱/۰۸	۳	۰/۳۶	۰/۴۳	۰/۷۳	۰/۰۳

جدول ۶. یافته‌های مربوط به آزمون تی مستقل در هر یک از مراحل اندازه‌گیری برای متغیر عملکرد و حافظه کاری

متغیر	مراحل اندازه‌گیری	اختلاف میانگین	درجه آزادی	مقدار t	سطح معنی‌داری
عملکرد حرکتی	پیش‌آزمون	۲/۵۰	۲۲	۰/۳۸	۰/۷۰۵
	پس‌آزمون	۳۱/۶۶	۲۲	۴/۸۷	۰/۰۰۱
	پیگیری کوتاه‌مدت	۳۵/۰۰	۲۲	۴/۱۳	۰/۰۰۱
	پیگیری بلندمدت	۳۰/۰۰	۲۲	۵/۷۵	۰/۰۰۱
حافظه کاری	پیش‌آزمون	۰/۱۶	۲۲	۰/۵۲	۰/۶۰۳
	پس‌آزمون	۱/۶۶	۲۲	۴/۰۲	۰/۰۰۱
	پیگیری کوتاه‌مدت	۱/۵۰	۲۲	۳/۸۲	۰/۰۰۱
	پیگیری بلندمدت	۱/۲۵	۲۲	۲/۸۵	۰/۰۰۹

جمعیت‌های کودکان مبتلا به اختلال حرکتی، tDCS ممکن است راهی برای تعدیل یادگیری حرکتی و تقویت اثرات درمان‌های فعلی در کودکان مبتلا به DCD فراهم کند (گروس و همکاران، ۲۰۲۰). بنابراین، مطالعه حاضر با هدف اثر تحریک الکتریکی مستقیم فراجمعه‌ای (tDCS) قشر بینایی بر اکتساب و ماندگاری عملکرد حرکتی و حافظه کاری کودکان دارای اختلال هماهنگی رشدی انجام گرفت. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که تحریک قشر بینایی با اندازه اثر ۰/۴۵، باعث بهبود عملکرد حرکتی کودکان دارای اختلال هماهنگی رشدی گردید. این یافته مطالعه حاضر به‌صورت غیرمستقیم با مطالعه هریس و همکاران (۲۰۱۹) ناهمخوان است. هریس و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که تحریک قشر بینایی بر عملکرد پات گلف و توجه دیداری حرکتی (چشم ساکن) تأثیر معنی‌داری ندارد. از دلایل ناهمخوانی می‌تواند تعداد جلسات تحریک باشد که در مطالعه حاضر ۵ جلسه تحریک بود؛ در حالی که در مطالعه هریس و همکاران (۲۰۱۹) یک جلسه بود. به‌طور کلی، به نظر می‌رسد که جلسات تک جلسه باعث بهبود مهارت حرکتی می‌شود (بوجیو و همکاران ۲۰۰۶؛ واینز و همکاران ۲۰۰۸). اما ممکن است برای مداخلات توانبخشی که معمولاً چند روز تمرین را شامل می‌شوند، کمتر قابل استفاده باشند. مطالعاتی که اثرات

همان‌طور که در جدول ۶ مشاهده می‌گردد، در مرحله پیش‌آزمون بین گروه‌ها در متغیر عملکرد پرتاب کردن و دریافت کردن تفاوت معنی‌داری وجود ندارد؛ اما نتایج نشان داد که در مرحله پس‌آزمون، آزمون پیگیری کوتاه‌مدت و پیگیری بلندمدت به ترتیب با اختلاف میانگین ۳۱/۶۶، ۳۵/۰۰ و ۳۰/۰۰ واحد شرکت‌کنندگان گروه تحریک ناحیه قشر بینایی در مقایسه با شرکت‌کنندگان گروه تحریک ساختگی از لحاظ آماری عملکرد حرکتی بالاتری در پرتاب کردن و دریافت کردن داشتند ($P < 0/01$).

همچنین دیگر نتایج حاکی از این بود که در مرحله پیش‌آزمون بین گروه‌ها در متغیر حافظه کاری تفاوت معنی‌داری وجود ندارد؛ اما نتایج نشان داد که در مرحله پس‌آزمون، آزمون پیگیری کوتاه‌مدت و پیگیری بلندمدت، به ترتیب با اختلاف میانگین ۱/۶۶، ۱/۵۰ و ۱/۲۵ واحد شرکت‌کنندگان گروه تحریک ناحیه قشر بینایی در مقایسه با شرکت‌کنندگان گروه تحریک ساختگی از لحاظ آماری حافظه کاری بالاتری داشتند ($P < 0/01$).

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به حمایت از ایمنی، امکان‌سنجی و کارایی tDCS در

tDCS را در طی چند روز تمرین بررسی می‌کنند، اثرات قوی شرایط tDCS مشابه مورد استفاده در مطالعه حاضر را نشان داده‌اند (ریس و همکاران، ۲۰۰۹)؛ اما در این زمینه، آنتال و همکاران (۲۰۰۴، ۲۰۰۸) دریافتند که tDCS بر قشر بینایی عملکرد تکالیف ردیابی دیداری-حرکتی و ادراک حرکت را چه در حین و چه بلافاصله پس از تحریک بهبود می‌بخشد. از آنجا که تیزیابی با عملکرد دیداری-حرکتی مرتبط است (اوکونر و همکاران، ۲۰۱۰)، 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 (آنتال و همکاران، ۲۰۰۴) و تحریک V1 طیف وسیعی از تأثیرات را در اصلاح ادراک دیداری نشان داده است (آنتال و پائولوس، ۲۰۰۸؛ اسپیکل و همکاران، ۲۰۱۲). اهمیت V5 قشر مغز و نواحی مجاور آن در ادراک طبیعی محرک‌های پویا (متحرک) به خوبی توسط چندین مطالعه ثابت شده است (استوارت و همکاران، ۱۹۹۹). قرار گرفتن آن در سطح بطنی جانبی مغز آن را به‌ویژه در مطالعات با استفاده از تکنیک تحریک خارجی قابل دسترس می‌کند. چندین مطالعه نشان داد که TMS این ناحیه، باعث اختلال در عملکرد در تکالیف دیداری حرکتی می‌شود (هوستون و همکاران، ۱۹۹۴؛ بکرز و همکاران، ۱۹۹۲). استوارت و همکاران (۱۹۹۹) گزارش کردند که تحریک V5 یادگیری یک تکلیف دیداری حرکتی را به روشی خاص فرکانس تغییر داد. آزمودنی‌هایی که با فرکانس ۳ هرتز بر روی V5 سمت چپ تحریک شدند، در طول یک جلسه ۴ روزه، به‌طور قابل توجهی، بیشتر از گروه کنترل یا گروهی که تحریک ۱۰ هرتز را دریافت کردند، یاد گرفتند. با این حال، عملکرد خاص V5 در یادگیری دیداری حرکتی تاکنون مشخص نیست. آنتال و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند که افزایش تحریک‌پذیری خارجی توسط tDCS آندال، مرحله اکتساب یادگیری را بهبود می‌بخشد. بر این اساس، افزایش تحریک‌پذیری نورون‌های V5 و M1 با تحریک آندال می‌تواند آنها را نسبت به ورودی‌های عصبی حساس‌تر کند و در نتیجه، نسبت سیگنال به نویز را بهبود بخشد و دقت عملکرد را بهبود بخشد (آنتال و همکاران، ۲۰۰۴).

در مورد ماندگاری کوتاه‌مدت و بلندمدت عملکرد پرتاب کردن و دریافت کردن کودکان دارای اختلال هماهنگی

رشدی در اثر تحریک قشر بینایی، نتایج حاکی از عدم تضعیف عملکرد این کودکان در مقایسه با مرحله اکتساب بود. در این ارتباط، باج و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای مروری، به بررسی ادبیات منتشر شده در این مورد پرداختند که آیا tDCS می‌تواند اکتساب، پیگیری 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. این علت ناهمخوانی می‌تواند به‌دلیل مدت زمان تایم اندازه‌گیری آزمون پیگیری می‌باشد. در مطالعه مولرو-چامیزو و همکاران (۲۰۱۸) و باج و همکاران (۲۰۱۷) پیگیری بلندمدت بعد از سه روز بررسی گردید؛ در صورتی که در تحقیق حاضر بعد از ۶ هفته بررسی گردید؛ اما در مطالعه‌ای همخوان، با استفاده از یک تکلیف یادگیری حرکتی جدید که دارای کارکرد مبادله دقت - سرعت بالا بود، ریس و همکاران (۲۰۰۹) پیشرفت‌های زیادی با tDCS آندال در مقایسه با تحریک ساختگی را در طول پنج روز تحریک در بزرگسالان نشان دادند. 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 که افزایش یادگیری حرکتی در این تکلیف، به ترشح فاکتور نوروتروفیک مشتق از مغز (BDNF) وابسته است؛ جایی که افراد دارای چند شکلی این پروتئین، الگوهای تغییر یافته‌ای از مهارت را نشان می‌دهند (فریسیچ و همکاران، ۲۰۱۰). احتمالاً با تعدیل فعالیت گیرنده NMDA 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 و همکاران (۲۰۱۷) نشان داد که همزمان با پروتکل‌های القایی LTP یا LTD، tDCS آندال 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. این یافته‌های مهم تأیید می‌کند که tDCS می‌تواند مکانیسم‌های پلاستیسته سیناپسی را تعدیل کند. مطابق با مدل‌های

پالستیسیتته Hebbian، هنگامی که یک تکلیف حرکتی به‌طور مکرر انجام می‌شود، ممکن است انعطاف‌پذیری سیناپسی رخ دهد که منجر به افزایش پایدار این مهارت می‌شود. یادگیری حرکتی حتی می‌تواند در یک دوره کوتاه از یک جلسه آموزشی تقویت شود.

دیگر نتایج مطالعه حاضر نشان داد که تحریک قشر بینایی با اندازه اثر ۲۴/۰، بر حافظه کاری کودکان دارای اختلال هماهنگی رشدی تأثیر معنی‌داری دارد و باعث افزایش حافظه کاری این کودکان گردید. اگرچه با جست‌وجوی محقق در پایگاه‌های اطلاعاتی مطالعه‌ای با تأثیر تحریک قشر بینایی بر حافظه کاری کودکان اختلال هماهنگی رشدی یافت نگردید؛ اما این یافته را می‌توان بدین صورت توجیه نمود که یک فرض این است که تأثیرات مشاهده شده ناشی از افزایش در تحریک‌پذیری کورتکسی باشد؛ زیرا تحریک آندی با دپولاریزه کردن نورونی، موجب تغییر در استراحت نورونی می‌شود و تحریک‌پذیری آن ناحیه را افزایش می‌دهد (میلیوس و همکاران، ۲۰۱۲). ممکن است شبکه‌های کورتکسی تشکیل‌دهنده انتخاب پاسخ بیشتر از اعمال حافظه کاری تحت تأثیر tDCS قرار گیرد؛ یعنی شبکه‌هایی که در انواع دیگر تکالیف شناختی درگیرند (مارشال و همکاران، ۲۰۰۵). فرض دیگر می‌تواند نقش دوپامین در حافظه کاری باشد. مطالعه باجیو و همکاران (۲۰۰۶) نشان می‌دهد که در طول تکلیف مرتبط با حافظه کاری، دوپامین در نواحی پیش‌پیشانی افزایش می‌یابد؛ یعنی افزایش تحریک‌پذیری سطحی در کورتکس پیش‌پیشانی، موجب افزایش در رهاسازی دوپامین می‌شود که خود موجب بهبود عملکرد حافظه کاری می‌شود. ممکن است تحریک دوپامینرژیک برای حفظ فعالیت کورتکس پیش‌پیشانی و فرایندهای حافظه کاری ضروری باشند؛ بنابراین، tDCS آندی، موجب آثار بهبود تحریکی می‌شود که آن شاید سطوح گلوتامات، آمینواسید مرتبط با حافظه کاری، بازنشاسی حافظه و یادگیری محرک - پاسخ را افزایش می‌دهد. دیگر نتیجه این بخش در مورد ماندگاری کوتاه‌مدت و بلندمدت حافظه کاری در اثر تحریک قشر بینایی بود. در تبیین این یافته، می‌توان گفت که ممکن است افزایش تعداد پاسخ‌های صحیح ناشی از مکانیسم پتانسیل بلندمدت (LTP) باشد. مکانیسم پتانسیل بلندمدت، پذیرفته شده‌ترین مدل

پالستیسیتته نورونی است که فرض می‌شود عامل اصلی در یادگیری و حافظه است. این مکانیسم، به افزایش طولانی‌مدت انتقال دهنده‌های عصبی اشاره دارد که می‌تواند ساعت‌ها تا ماه‌ها ادامه پیدا کند که ناشی از فعالیت همزمان سلول‌های پیش‌سیناپسی و پس‌سیناپسی است؛ بنابراین، tDCS آندی می‌تواند با افزایش فعالیت پیش‌سیناپسی همراه با دپولاریزه کردن پس‌سیناپسی، موجب تانسیل بلندمدت شود (کوک و بلیس، ۲۰۰۶). آثار فیزیولوژیکی و سلولی تحریک آندی تا اندازه‌ای نشان‌دهنده تانسیل بلندمدت است. در حقیقت مطالعات آزمایشگاهی آثار سیناپسی tDCS را در ایجاد و تعدیل تانسیل بلندمدت نشان می‌دهند (رانبری و همکاران، ۲۰۱۲). یک فرض می‌تواند این باشد که tDCS آندی به بهبود تحریک‌پذیری می‌شود که شاید ناشی از افزایش سطح گلوتامات باشد (کلارک و همکاران، ۲۰۱۱)؛ آمینواسیدی که با حافظه کاری، بازنشاسی حافظه و یادگیری پاسخ به محرک مرتبط است (رابینز و مورفی، ۲۰۰۶). به نظر می‌رسد که تأثیرات تسهیل‌کنندگی بعدی tDCS بر اساس تغییرات در گیرنده NMDA باشد. نتایج نشان می‌دهد که گیرنده‌های NMDA در کورتکس برای رمزگردانی ادراکی ضروری نیستند؛ اما برای ایجاد پالستیسیتته سیناپسی مورد نیاز در ذخیره بلندمدت لازمند. بنابراین، به نظر می‌رسد مکانیسم‌های گلوتامات فرایندهای حافظه را تعدیل می‌کنند (رابینز و مورفی، ۲۰۰۶).

به‌طور کلی، نتایج مطالعه حاضر نشان داد که تحریک الکتریکی مستقیم فراجمعه‌ای (tDCS) ناحیه قشر بینایی بر بهبود و ماندگاری عملکرد پرتاب کردن و گرفتن و حافظه کاری کودکان دارای اختلال هماهنگی رشدی تأثیر معنی‌داری دارد. نتایج به‌دست آمده در تحقیق حاضر بر اهمیت تحریک الکتریکی مستقیم فراجمعه‌ای (tDCS) ناحیه بینایی بر عملکرد و حافظه کاری تأکید دارد که در نتیجه، به مربیان و متخصصان کودکان استثنایی پیشنهاد می‌گردد که بیش از پیش به این تحریک الکتریکی مستقیم فراجمعه‌ای (tDCS) ناحیه بینایی توجه نمایند و در محیط‌های میدانی و آزمایشگاهی، برای ارتقای عملکرد حرکتی و حافظه کاری، از فواید این تحریک بهره‌جویند. همچنین، از آنجا که نتایج تحریک الکتریکی مستقیم فراجمعه‌ای (tDCS) ناحیه بینایی قابلیت تکرار بر اساس

(۲۰۱۷) تأکیده کرده‌اند، روشن است که تحریک الکتریکی مستقیم فراجمه‌ای (tDCS) می‌تواند مشخصه‌های مهارتی در یک سطح رفتاری را تغییر دهد؛ اما معلوم نیست چه چیزی در سطح مکانیکی آموزش دیده است (مثل برنامه‌ریزی بهتر حرکات یا کنترل لحظه‌ای، فعالیت‌های عضلانی). بنابراین پیشنهاد می‌گردد که در تحقیقات آینده، اثر tDCS بر کارآمدی عضلانی و کینماتیک بررسی گردد.

پیگیری تا ۴۲ روز بی‌تمرینی را داشت، بنابراین، این نتایج کاربردهای ویژه‌ای دارد جایی که عملکرد حرکتی ماهرانه تحت تأثیر متقابل فشارهای روانی و فیزیولوژیکی قرار می‌گیرد. در نتیجه، به مریبان پیشنهاد می‌شود که به تحریک الکتریکی مستقیم فراجمه‌ای (tDCS) ناحیه بینایی و اثرات احتمالی آن‌ها در متغیرهای عملکرد، توجه ویژه‌ای داشته باشند تا بتوانند حداقل بر اثرات منفی (فشارهای روانی و فیزیولوژیکی) فائق آیند. با توجه به اینکه پیکسا و همکاران

منابع

شکره، گلچین؛ حسینی، فاطمه السادات. (۱۳۹۸). اثربخشی تحریک الکتریکی (tDCS) بر حافظه کاری کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی. نشریه رشد و یادگیری حرکتی ورزشی، ۱۱(۲)، ۲۳۱-۲۴۶.

بهرامی، شهرزاد؛ موسوی ساداتی، سیدکاظم؛ دانشجو، عبدالرسول. (۱۳۹۹). تأثیر تحریک الکتریکی فراجمه مغز و تمرینات منتخب بر تعادل کودکان دارای اختلال هماهنگی رشدی. *دوماهنامه علمی - پژوهشی طب توانبخشی*، ۹(۱)، ۲۶۹-۲۵۹.

American Psychiatric Association (2013). *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (DSM-5®)*. Arlington, VA.

Antal, A., & Paulus, W. (2008). Transcranial direct current stimulation and visual perception. *Perception*, 37(3), 367-374.

Antal, A., Nitsche, M. A., Kruse, W., Kincses, T. Z., Hoffmann, K. P., & Paulus, W. (2004). Direct current stimulation over V5 enhances visuomotor coordination by improving motion perception in humans. *Journal of cognitive neuroscience*, 16(4), 521-527.

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

Beckers, G., & Hömberg, V. (1992). Cerebral visual motion blindness: transitory akinetopsia induced by transcranial magnetic stimulation of human area V5. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 249(1325), 173-178.

Bikson M., Grossman P., Thomas C., Zannou A. L., Jiang J., Adnan T., et al.. (2016). Safety of transcranial direct current stimulation: evidence based

update 2016. *Brain Stimul.* 9, 641-661.

Biotteau M., Chaix Y., Albaret J. M. (2016a). What do we really know about motor learning in children with developmental coordination disorder? *Curr. Dev. Disord. Rep.* 3, 152-160.

Biotteau M., Chaix Y., Blais M., Tallet J., Peran P., Albaret J. M. (2016b). Neural signature of DCD: a critical review of MRI neuroimaging studies. *Front. Neurol.* 7: 227.

Blank R., Barnett A. L., Cairney J., Green D., Kirby A., Polatajko H., et al.. (2019). International clinical practice recommendations on the definition, diagnosis, assessment, intervention, and psychosocial aspects of developmental coordination disorder. *Dev. Med. Child Neurol.* 61, 242-285.

Bo J., Lee C. M. (2013). Motor skill learning in children with developmental coordination disorder. *Res. Dev. Disabil.* 34, 2047-2055.

Boggio, P. S., Castro, L. O., Savagim, E. A., Braitte, R., Cruz, V. C., Rocha, R. R., ... & Fregni, F. (2006). Enhancement of non-dominant hand motor function by anodal transcranial direct current stimulation. *Neuroscience letters*, 404(1-2), 232-236.

Bolzoni F., Pettersson L., Jankowska E.

- Evidence for long-lasting subcortical facilitation by transcranial direct current stimulation in the cat. *2013;13*: 3381 – 99.
- Buch, E. R., Santarnecchi, E., Antal, A., Born, J., Celnik, P. A., Classen, J., ... & Cohen, L. G. (2017). Effects of tDCS on motor learning and memory formation: a consensus and critical position paper. *Clinical Neurophysiology, 128*(4), 589-603.
- Castelli D. M., Centeio E. E., Beighle A. E., Carson R. L., Nicksic H. M. (2014). Physical literacy and comprehensive school physical activity programs. *Prev. Med.* 66, 95–100.
- Ciechanski P., Kirton A. (2017). Transcranial direct-current stimulation can enhance motor learning in children. *Cereb. Cortex* 27, 2758–2767
- Clark, V. P., Coffman, B. A., Trumbo, M. C., & Gasparovic, C. (2011). Transcranial direct current stimulation (tDCS) produces localized and specific alterations in neurochemistry: a 1H magnetic resonance spectroscopy study. *Neuroscience letters, 500*(1), 67-71.
- Cole L., Giuffre A., Ciechanski P., Carlson H. L., Zewdie E., Kuo H. C., et al.. (2018). Effects of high-definition and conventional transcranial direct-current stimulation on motor learning in children. *Front. Neurosci.* 12: 787.
- Cooke, S. F., & Bliss, T. V. (2006). Plasticity in the human central nervous system. *Brain, 129*(7), 1659-1673.
- DaSilva AF, Mendonca ME, Zaghi S, Lopes M, Dossantos MF, Spierings EL, et al. tDCS-Induced Analgesia and Electrical Fields in Pain-Related Neural Networks in Chronic Migraine. 2012;
- Debrabant, J., Gheysen, F., Caeyenberghs, K., Van Waelvelde, H., & Vingerhoets, G. (2013). Neural underpinnings of impaired predictive motor timing in children with developmental coordination disorder. *Research in developmental disabilities, 34*(5), 1478-1487.
- Finisguerra A., Borgatti R., Urgesi C. (2019). Non-invasive brain stimulation for the rehabilitation of children and adolescents with neurodevelopmental disorders: a systematic review. *Front. Psychol.* 10: 135
- 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.
- Fritsch, B., Reis, J., Martinowich, K., Schambra, H. M., Ji, Y., Cohen, L. G., & Lu, B. (2010). Direct current stimulation promotes BDNF-dependent synaptic plasticity: potential implications for motor learning. *Neuron, 66*(2), 198-204.
- Gomez A., Sirigu A. (2015). Developmental coordination disorder: core sensori-motor deficits, neurobiology and etiology. *Neuropsychologia* 79, 272–87.
- Grohs, M. N., Craig, B. T., Kirton, A., & Dewey, D. (2020). 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.*
- Grohs, M. N., Hilderley, A., & Kirton, A. (2019). The therapeutic potential of non-invasive neurostimulation for motor skill learning in children with neurodevelopmental disorders. *Current Developmental Disorders Reports, 6*(1), 19-28.
- Harris, D. J., Wilson, M. R., Buckingham, G., & Vine, S. J. (2019). 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, 43*, 368-373.
- Harrowell I., Hollen L., Lingam R., Emond A. (2018). The impact of developmental coordination disorder on educational achievement in secondary school. *Res. Dev. Disabil.* 72, 13–22.
- Henderson, S. E., Sugden, D. A., & Barnett, A. L. (2007). *Movement assessment battery for children* (Vol. 26). London: Harcourt Assessment.
- Hotson, J., Braun, D., Herzberg, W., & Boman, D. (1994). Transcranial magnetic stimulation of extrastriate cortex

- degrades human motion direction discrimination. *Vision research*, 34(16), 2115-2123.
- Jane J. Y., Burnett A. F., Sit C. H. (2018). Motor skill interventions in children with developmental coordination disorder: a systematic review and meta-analysis. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 99, 2076–2099.
- Jeon, S. Y., & Han, S. J. (2012). Improvement of the working memory and naming by transcranial direct current stimulation. *Annals of rehabilitation medicine*, 36(5), 585.
- Ke, Y., Wang, N., Du, J., Kong, L., Liu, S., Xu, M., ... & Ming, D. (2019). The effects of transcranial direct current stimulation (tDCS) on working memory training in healthy young adults. *Frontiers in human neuroscience*, 13, 19.
- Kronberg G., Bridi M., Abel T., Bikson M., Parra L. C. (2017). Direct current stimulation modulates LTP and LTD: activity dependence and dendritic effects. *Brain Stimul.* 10, 51–58.
- Levac D., Wishart L., Missiuna C., Wright V. (2009). The application of motor learning strategies within functionally based interventions for children with neuromotor conditions. *Pediatr. Phys. Ther.* 21, 345–355.
- Licari, M. K., Billington, J., Reid, S. L., Wann, J. P., Elliott, C. M., Winsor, A. M., ... & Bynevelt, M. (2015). Cortical functioning in children with developmental coordination disorder: a motor overflow study. *Experimental brain research*, 233(6), 1703-1710.
- Marshall, L., Mölle, M., Siebner, H. R., & Born, J. (2005). Bifrontal transcranial direct current stimulation slows reaction time in a working memory task. *BMC neuroscience*, 6(1), 1-7.
- Molero-Chamizo, A., Bailén, J. R. A., Béjar, T. G., López, M. G., Rodríguez, I. J., Lérida, C. G., ... & Rivera-Urbina, G. N. (2018). Poststimulation time interval-dependent effects of motor cortex anodal tDCS on reaction-time task performance. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 18(1), 167-175.
- 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.
- Nitsche, M. A., & Paulus, W. (2001). Sustained excitability elevations induced by transcranial DC motor cortex stimulation in humans. *Neurology*, 57(10), 1899-1901.
- O'Connor, A. R., Birch, E. E., Anderson, S., Draper, H., & FSOS Research Group. (2010). The functional significance of stereopsis. *Investigative ophthalmology & visual science*, 51(4), 2019-2023.
- Palm U., Segmiller F. M., Epple A. N., Freisleder F. J., Koutsouleris N., Schulte-Korne G., et al. (2016). Transcranial direct current stimulation in children and adolescents: a comprehensive review. *J. Neural Transmission* 123, 1219–1234.
- Pixa, N. H., Steinberg, F., & Doppelmayr, M. (2017). High-definition transcranial direct current stimulation to both primary motor cortices improves unimanual and bimanual dexterity. *Neuroscience letters*, 643, 84-88.
- Polanía, R., Paulus, W., & Nitsche, M. A. (2012). Modulating cortico-striatal and thalamo-cortical functional connectivity with transcranial direct current stimulation. *Human brain mapping*, 33(10), 2499-2508.
- Ranieri, F., Podda, M. V., Riccardi, E., Frisullo, G., Dileone, M., Profice, P., ... & Grassi, C. (2012). Modulation of LTP at rat hippocampal CA3-CA1 synapses by direct current stimulation. *Journal of neurophysiology*, 107(7), 1868-1880.
- Reis, J., Schambra, H. M., Cohen, L. G., Buch, E. R., Fritsch, B., Zarahn, E., ... & Krakauer, J. W. (2009). Noninvasive cortical stimulation enhances motor skill acquisition over multiple days through an effect on consolidation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(5), 1590-1595.
- Robbins, T. W., & Murphy, E. R. (2006). Behavioural pharmacology: 40+ years of

- progress, with a focus on glutamate receptors and cognition. *Trends in pharmacological sciences*, 27(3), 141-148.
- Smits-Engelsman B. C., Blank R., Van Der Kaay A. C., Mosterd-Van Der Meijjs R., Vlugt-Van Den Brand E., Polatajko H. J., et al.. (2013). Efficacy of interventions to improve motor performance in children with developmental coordination disorder: a combined systematic review and meta-analysis. *Dev. Med. Child Neurol.* 55, 229–237.
- Spiegel, D. P., Hansen, B. C., Byblow, W. D., & Thompson, B. (2012). Anodal transcranial direct current stimulation reduces psychophysically measured surround suppression in the human visual cortex. *PLoS One*, 7(5), e36220.
- Stagg C. J., Nitsche M. A. (2011). Physiological basis of transcranial direct current stimulation. *Neuroscientist* 17, 37–53.
- Stewart, L., Battelli, L., Walsh, V., & Cowey, A. (1999). Motion perception and perceptual learning studied by magnetic. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology: Supplement*, (51), 334.
- Todorov E. (2003). “On the role of primary motor cortex in arm movement control,” in *Progress in Motor Control: Vol. 3*, eds Latash M. L., Levin M. F. (Champaign, IL: Human Kinetics;), 125–166.
- Tseng, P., Hsu, T. Y., Chang, C. F., Tzeng, O. J., Hung, D. L., Muggleton, N. G., ... & Juan, C. H. (2012). Unleashing potential: transcranial direct current stimulation over the right posterior parietal cortex improves change detection in low-performing individuals. *Journal of Neuroscience*, 32(31), 10554-10561.
- Vines, B. W., Cerruti, C., & Schlaug, G. (2008). Dual-hemisphere tDCS facilitates greater improvements for healthy subjects' non-dominant hand compared to uni-hemisphere stimulation. *BMC neuroscience*, 9(1), 1-7.
- Woods A. J., Martin D. M. (2016). “Clinical research and methodological aspects for tDCS research,” in *Transcranial Direct Current Stimulation in Neuropsychiatric Disorders*, eds Brunoni A., Nitsche M., Loo C. (New York, NY; Cham: Springer), 393–404.
- Zewdie E., Ciechanski P., Kuo H. C., Giuffre A., Kahl C., King R., et al.. (2020). Safety and tolerability of transcranial magnetic and direct current stimulation in children: prospective single center evidence from 3.5 million stimulations. *Brain Stimul.* 13, 565–575.



COPYRIGHTS

© 2022 by the authors. Licensee PNU, Tehran, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY4.0) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>)