DOI: 10.48305/jrrs.2026.42721.1092 Published by Vesnu Publications

تأثیر پروتکل‌های الکترودگذاری بهینه تحریک الکتریکی مستقیم از روی جمجمه بر کارکردهای اجرایی سرد و گرم در کودکان با اختلال نارسایی توجه- بیش‌فعالی: یک گستره‌پژوهی

محدثه عرفانی‌نسب[1]، سالار فرامرزی[2]

مقاله مروری

چکیده

مقدمه: اختلال نارسایی توجه- بیش‌فعالی (Attention deficit hyperactivity disorder یا ADHD)، نوعی اختلال عصبی- رشدی مزمن با تظاهرات بالینی و پیچیده ناهمگن از جمله سطوح نامناسب و مختل‌کننده بی‌توجهی، بیش‌فعالی و تکانشگری است که موجب بروز نارسایی عملکرد معنی‌دار در مکانیزم‌های مرتبط با کارکردهای اجرایی سرد و گرم می‌شود. این اختلال به طور مستقیم بر فرایندهایی همچون حافظه فعال، توجه، بازداری پاسخ، خودتنظیمی هیجانات، برنامه‌ریزی، انعطاف‌پذیری شناختی، تغییر زمان واکنش، ترجیح دادن پاداش‌های فوری تصمیم‌گیری و... تأثیر دارد. در همین راستا و با توجه به اهمیت کارکردهای اجرایی در مهارت‌های اساسی زندگی روزمره و نقش پررنگ آن‌ها در اختلالات عصبی- رشدی، پژوهش‌های بسیاری اثربخشی رویکردهای مختلف مانند تکنیک‌های تعدیل عصبی مغز را بر بهبود این مورد بررسی قرار داده‌اند. گستره‌پژوهی حاضر با هدف مرور منابع به منظور بررسی تأثیر روش تحریک الکتریکی مستقیم از روی جمجمه (Transcranial direct current stimulation یا tDCS) بر کارکردهای اجرایی سرد و گرم در کودکان مبتلا به ADHD انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه گستره‌پژوهی، به منظور بررسی تحقیقات مرتبط با هدف، واژگان کلیدی انگلیسی «Transcranial Direct Current Stimulation، tDCS، Hot executive functions، Cold executive functions، Attention deficit/hyperactivity disorder، Brain neuromodulation، ADHD» در پایگاه‌های داده Web of Science، ScienceDirect، Scopus، PubMed و Google Scholar و کلید واژه‌های فارسی «تحریک الکتریکی مستقیم از روی جمجمه، تعدیل عصبی مغز، اختلال نارسایی توجه/ بیش‌فعالی، کارکردهای اجرایی سرد، کارکردهای اجرایی گرم» در پایگاه فارسی Scientific Information Database (SID) مورد جستجو قرار گرفت. در نهایت و با توجه به معیارهای ورود، ۱۵ پژوهش به صورت تمام متن بررسی گردید.

یافته‌ها: tDCS به طور کلی پتانسیل مثبتی در بهبود کارکردهای اجرایی کودکان مبتلا به ADHD دارد. مطالعات متعدد حاکی از آن است که این روش با تعدیل تحریک‌پذیری نواحی مرتبط با کارکردهای اجرایی به ویژه قشر پیش‌پیشانی عمل می‌کند. به نظر می‌رسد که tDCS با افزایش فعالیت یا تغییر تعادل تحریک/ مهار در این نواحی، به بهبود جنبه‌هایی از کارکردهای اجرایی سرد مانند حافظه کاری و انعطاف‌پذیری شناختی کمک می‌کند. در خصوص کارکردهای اجرایی گرم، شواهدی مبنی بر تأثیر tDCS بر تنظیم هیجانی و کنترل تکانه نیز مشاهده گردید؛ هرچند نتایج در این زمینه ممکن است به دلیل تفاوت در پروتکل‌های الکترودگذاری و نواحی هدف، پراکندگی بیشتری داشته باشد. برخی تحقیقات بر اهمیت انتخاب دقیق پروتکل tDCS از جمله شدت جریان، مدت زمان تحریک و محل قرارگیری الکترودها (به ویژه بر روی نواحی پیش‌پیشانی) به منظور دستیابی به اثربخشی مطلوب تأکید نمودند.

نتیجه‌گیری: استفاده از پروتکل‌های صحیح الکترودگذاری در انواع روش‌های تعدیل عصبی مغز از جمله tDCS می‌تواند درمان امیدوارکننده‌ای به منظور بهبود علایم در کودکان مبتلا به ADHD باشد.

کلید واژه‌ها: تحریک الکتریکی مستقیم از روی جمجمه؛ کارکردهای اجرایی سرد؛ کارکردهای اجرایی گرم؛ کودکان؛ اختلال نارسایی توجه- بیش‌فعالی

ارجاع: عرفانی‌نسب محدثه، فرامرزی سالار. **تأثیر پروتکل‌های الکترودگذاری بهینه تحریک الکتریکی مستقیم از روی جمجمه بر کارکردهای اجرایی سرد و گرم در کودکان با اختلال نارسایی توجه- بیش‌فعالی: یک گستره‌پژوهی.** پژوهش در علوم توانبخشی ۱۴۰۳؛ ۲۰.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۵ تاریخ چاپ: ۱۴۰۳/۱/۱۵

۱- کارشناس ارشد، گروه روان‌شناسی و آموزش افراد با نیازهای خاص، دانشکده علوم تربیتی و روان‌شناسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
۲- استاد، گروه روان‌شناسی و آموزش افراد با نیازهای خاص، دانشکده علوم تربیتی و روان‌شناسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
نویسنده مسؤول: سالار فرامرزی؛ استاد، گروه روان‌شناسی و آموزش افراد با نیازهای خاص، دانشکده علوم تربیتی و روان‌شناسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
Email: s.faramarzi@edu.ui.ac.ir

مقدمه

اختلال نارسایی توجه- بیش‌فعالی (Attention deficit hyperactivity disorder یا ADHD)، نوعی اختلال عصبی- رشدی (Neurodevelopmental disorders یا NDDs) شایع و مجموعه‌ای فراگیر از علایم بالینی همچون بی‌توجهی، بیش‌فعالی و تکانشگری است که منجر به بروز اختلال در عملکرد اجتماعی، تحصیلی و یا شغلی افراد می‌شود (۱). به عبارت دیگر، ADHD نوعی اختلال پیچیده و مزمن از نظر بالینی است که اغلب با علایم تشخیصی و عوامل پاتوفیزیولوژیک بسیار ناهمگن مشخص می‌شود. با این وجود، می‌توان گفت این اختلال اغلب با نقص در طیف وسیعی از حوزه‌های شناختی همچون برانگیختگی، حافظه کاری، بازداری رفتار، برنامه‌ریزی ،انعطاف‌پذیری شناختی، توجه و تخفیف تأخیر همراه می‌باشد (۴-۲). به بیان دیگر، می‌توان گفت که کودکان و نوجوانان مبتلا به ADHD در عملکردهای شناختی سطح بالا که در ایجاد و مدیریت رفتارهای هدفمند در بزرگسالان نقشی اساسی دارند و تحت عنوان کارکردهای اجرایی (Executive functions) شناخته می‌شوند، دچار ضعف هستند (۵).

تاکنون از مفهوم کارکردهای اجرایی، مفهوم‌پردازی جهان‌شمولی میان پژوهشگران ارایه نشده است با این وجود، می‌توان گفت که کارکردهای اجرایی مجموعه‌ای از توانایی‌های شناختی مرتبط با پردازش کنترل شده اطلاعات در مغز انسان هستند (۶). در حال حاضر، نوعی توافق کلی میان پژوهشگران و متخصصان وجود دارد که نشان می‌دهد کارکردهای اجرایی سرد و گرم از جمله توجه، حافظه فعال، برنامه‌ریزی، انعطاف‌پذیری شناختی و تنظیم هیجانات اغلب در افراد مبتلا به ADHD دچار مشکل می‌شود (۷). در تلاش برای اثبات نقش کارکردهای اجرایی به عنوان نوعی عنصر حیاتی برای عملکرد تحصیلی دانش‌آموزان، بسیاری از پژوهشگران معتقد هستند که موفقیت در عملکرد تحصیلی مستلزم به‌کارگیری مناطق مغزی مرتبط با کارکردهای اجرایی و در نهایت، تقویت و بهبود اتوماتیک‌وار آن‌ها می‌شود (۸). به طور کلی، نتایج پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهد که کارکردهای اجرایی از طریق آموزش یا انجام مداخلات تخصصی قابل بهبود می‌باشد.

در سال‌های اخیر پیشرفت‌های ایجاد شده در زمینه تصویربرداری از مغز، علت پاتوفیزیولوژیک ADHD را به طور عمده ناشی از ناهنجاری‌هایی در ساختار و عملکرد مغز به ویژه نواحی کورتیکال و ساب‌کورتیکال مغز همچون قشر پیش‌پیشانی خلفی- جانبی (DLPFC Dorsolateral prefrontal cortex)، قشر پیش‌پیشانی بطنی (Orbitofrontal cortex یا OFC)، قشر پیش‌پیشانی بطنی- جانبی (Ventrolateral prefrontal cortex یا VLPFC)، مخچه (Cerebllum) و عقده‌های قاعده‌ای (Basal ganglia) می‌دانند که منجر به ایجاد نقص در کارکردهای اجرایی سرد و گرم در افراد مبتلا به این اختلال می‌شود (۱۰، ۹). به طور کلی، کارکردهای اجرایی سرد شامل مهارت‌هایی است که تحت شرایط نسبتاً انتزاعی، منطقی و غیر عاطفی به دست می‌آید و دربردارنده مواردی همچون حافظه فعال، برنامه‌ریزی، حل مسأله، بازداری پاسخ و توجه است؛ در حالی که کارکردهای اجرایی گرم مربوط به تصمیم‌گیری‌های انگیزشی و احساسی و شامل مواردی همچون تأخیر رضایت، تئوری ذهن، تصمیم‌گیری‌های عاطفی و رفتارهای بین‌فردی و اجتماعی است (۹).

در همین راستا و با توجه به اهمیت کارکردهای اجرایی در مهارت‌های اساسی زندگی روزمره و نقش پررنگ آن‌ها در NDDs، مطالعات بسیاری اثربخشی رویکردهای مختلف مانند تکنیک‌های تعدیل عصبی مغز (Brain neuromodulation) را بر بهبود آن مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج به دست آمده از مداخلات سال‌های اخیر بیان‌کننده آن است که فعالیت در مدارهای مرتبط با فرایندهای شناختی را می‌توان با استفاده از تحریک الکتریکی مستقیم از روی جمجمه (Transcranial direct current stimulation یا tDCS) تعدیل نمود (۱۰). tDCS نوعی تکنیک غیر تهاجمی، سطحی و غیر تشنجی است که می‌تواند عملکرد مغز را تعدیل کند و اغلب شامل اعمال جریان ضعیف بین ۰/۵ تا ۲ میلی‌آمپر بین آند و کاتدی است که در پدهای اسفنجی آغشته به محلول نمک یا الکترود لاستیکی محصور شده با ژل رسانا هستند و در مکان‌های انتخابی روی پوست سر قرار می‌گیرند. در این روش، جریان ضعیف الکتریسیته از طریق اتصال دو الکترود با قطب‌های متفاوت، اغلب یک آند و یک کاتد (آند یا الکترود منفی، مکانی است که الکتریسیته وارد مغز می‌شود و کاتد یا الکترود مثبت، جایی است که الکتریسیته از مغز خارج می‌شود) و در نقاط مختلف بر روی سطح جمجمه منجر به تحریک نورون‌های مغز می‌شود. تحریک کاتدی باعث کاهش تحریک‌پذیری مغز و تحریک آندی منجر به افزایش تحریک‌پذیری مغز می‌گردد (۱۱). تحقیقات انجام شده بر روی مغز انسان نشان می‌دهد که tDCS باعث تغییر مکانیسم پتانسیل عمل و آرامش در ناحیه سیناپس نورون‌ها می‌شود. همین عامل می‌تواند تا چهار برابر بیشتر از تغییر پتانسیل در جسم سلولی نورون‌ها تأثیر بگذارد. در واقع، می‌توان گفت که با استفاده از tDCS، سطح قطبیت انتهایی آکسون به نقطه‌ای می‌رسد که می‌تواند تغییرات قابل توجهی در پویایی پتانسیل عمل و آرامش نورون‌ها ایجاد کند (۱۲). علاوه بر این، یافته‌های قابل توجهی نشان داده‌اند که تنها ۲۵ تا ۵۰ درصد از جریان اعمال شده توسط tDCS به دلیل مقاومت زیاد استخوان جمجمه به مغز می‌رسد؛ با این حال tDCS با استفاده از تأثیرگذاری بر اعصاب محیطی، به شکل غیر مستقیم بیشترین تأثیر را بر مدارهای عصبی مغز دارد (۱۳).

نکته دیگر در رابطه با اثربخشی tDCS این است که پژوهش‌های سلولی و مولکولی که به طور عمده در مدل‌های حیوانی انجام شده‌اند، شواهدی از مکانیزم‌های پلاستیسیته بر اساس اثرات پس از tDCS ارایه می‌کنند. بنابراین، این شواهد پتانسیل درمانی روش tDCS را برای درمان اختلالات نورولوژیک بر اساس بهبود انعطاف‌پذیری سیناپسی مختل شده، توجیه و پشتیبانی می‌کنند (۱۴). tDCS از جمله تکنیک‌های ایمن و بدون درد می‌باشد و در بیشتر موارد عوارض جانبی آن به احساس سوزش و خارش در چند ثانیه اول تحریک و در ناحیه زیرین الکترودها خلاصه می‌شود (۱۴). با در نظر گرفتن این موارد می‌توان گفت که tDCS نوعی تکنیک درمانی نوین است که می‌تواند جایگزینی مناسب و بدون عوارض جانبی برای درمان دارویی در ADHD باشد (۱۵).

تاکنون بسیاری از مطالعات اثرات شناختی tDCS را در گروه‌های با اختلالات مختلف مورد بررسی قرار داده‌اند. برای مثال سالمی و صبحی قراملکی در یک تحقیق مروری نظام‌مند به بررسی اثربخشی tDCS بر درمان اختلالات روانی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که استفاده از tDCS می‌تواند در بهبود اختلالات روانی مختلف مؤثر باشد (۱۹).

اکثر پژوهش‌های مرتبط با tDCS بر روی افراد مبتلا به ADHD، ناحیه DLPFC مغز به ویژه Left DLPFC را با استفاده از تحریک آندال (Anodal stimulation) مورد هدف قرار داده‌اند که مؤثر بودن این پروتکل درمانی با توجه به نقش مهم و مستند این ناحیه در مدیریت چندین فرایند

http://jrrs.mui.ac.ir

شناختی از جمله حافظه کاری، برنامه‌ریزی و انعطاف‌پذیری شناختی تعجب‌آور نیست (۱۷)، اما یکی از ثابت‌ترین نتایج مربوط به مطالعات تصویرسازی تشدید مغناطیسی کارکردی (Functional magnetic resonance imaging یا fMRI)، کاهش فعالیت در مدار Orbito-frontal-cortico-striato-thalamo-cortical (OFCSTO) که به حلقه تکانه/ نیرو نیز معروف است را یکی دیگر از دلایل ایجاد سیمپتوم‌های منفی دیگر مانند عدم کنترل تکانه، اختلال پردازش هیجانی در افراد مبتلا به ADHD بیان کرده‌اند (۱۸). علاوه بر این، می‌توان گفت که ضخامت قشر OFC در افراد مبتلا به ADHD در مقایسه با افراد سالم به شکل قابل توجهی کمتر بوده و حجم ماده خاکستری در Right OFC کاهش یافته است. این در حالی است که این ناحیه نقش مهمی در کنترل رفتار هدفمند ایفا می‌کند (۱۹). بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که علاوه بر پروتکل درمانی DLPFC، تحریک نواحی دیگر از جمله OFC نیز می‌تواند منجر به بهبود قابل توجهی در فرایندهای شناختی گردد (۲۰). شواهد کافی برای حمایت از استفاده از پروتکل‌های مختلف تحریک الکتریکی مغز برای این افراد وجود ندارد. از این‌رو، هدف از انجام پژوهش حاضر، بررسی تأثیر پروتکل‌های درمانی بهینه tDCS بر کارکردهای اجرایی افراد مبتلا به ADHD بود.

مواد و روش‌ها

این مطالعه یک گستره‌پژوهی (Scoping review) با هدف بررسی تأثیر پروتکل‌های الکترودگذاری بهینه tDCS بر کارکردهای اجرایی سرد و گرم در کودکان مبتلا به ADHD بود. بر همین اساس، با بررسی نتایج به دست آمده از تحقیقات مرتبط پیشین در بازه زمانی سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۴، ابتدا به بررسی اهداف و پروتکل‌های درمانی مختلف tDCS در درمان کارکردهای اجرایی کودکان با ADHD پرداخته شد و در ادامه، اهمیت استفاده از این روش درمانی بررسی گردید. ابتدا به منظور یافتن پژوهش‌های مرتبط به زبان انگلیسی و فارسی، از مقالات نمایه شده مرتبط در پایگاه‌های داده معتبر انگلیسی و فارسی از جمله Web of Science، ScienceDirect، Scopus، PubMed و Google Scholar استفاده شد. به منظور اطمینان از جامعیت و پوشش کامل مطالعات داخلی، پایگاه داده Scientific Information Database (SID) به عنوان تنها پایگاه داده فارسی انتخاب گردید؛ چرا که این پایگاه به عنوان یکی از جامع‌ترین مخازن مقالات علمی ایران، بخش قابل توجهی از تحقیقات منتشر شده در مجلات معتبر کشور در حوزه علوم پزشکی و روان‌شناسی را نمایه می‌کند. به عبارت دیگر، می‌توان گفت که پس از بررسی اولیه، مشخص شد که SID بخش قابل توجهی از پژوهش‌های مرتبط داخلی را پوشش می‌دهد و جستجوی بیشتر در سایر پایگاه‌های فارسی، بازدهی قابل توجهی ندارد. کلید واژه‌های انگلیسی مورد استفاده شامل «Hot executive functions، Transcranial Direct Current Stimulation، tDCS، Cold executive functions، Attention deficit/hyperactivity disorder، ADHD، Brain neuromodulation و تحریک الکتریکی مستقیم از روی جمجمه، کارکردهای اجرایی سرد و گرم، اختلال نارسایی توجه/ بیش‌فعالی، تعدیل عصبی مغز» نیز به منظور جستجوی مقالات فارسی به صورت مجزا و ترکیبی به عنوان کلید واژه‌های فارسی برای جستجوی مقالات فارسی در نظر گرفته شد.

معیارهای ورود مقالات عبارت بود از مطالعات منتشر شده در بازه زمانی سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۴ که بر روی کودکان و نوجوانان با تشخیص ADHD تمرکز داشتند و از پروتکل‌های tDCS (با هر نوع الکترود، شدت و مدت زمان) به عنوان مداخله اصلی استفاده کرده بودند. این تحقیقات باید کارکردهای اجرایی (سرد و یا گرم) را به عنوان پیامد اصلی یا فرعی مورد ارزیابی قرار داده باشند و به زبان انگلیسی و فارسی منتشر شده باشند. همچنین، معیارهای خروج از تحقیق حاضر شامل نگارش مقاله به زبان دیگری غیر از فارسی و انگلیسی و پژوهش‌هایی که بر روی جمعیت بزرگسال یا ترکیبی از کودکان و بزرگسالان انجام شده و نتایج برای گروه‌های سنی به تفکیک ارایه نشده باشد، بود. معیار خروج دیگر، وجود ضعف و ابهام در روش‌شناسی مطالعه و حجم نمونه کم تحقیق بود.

پس از اجرای جستجوی اولیه، تمامی مقالات بر اساس عنوان و چکیده غربالگری شدند. سپس متن کامل مقالات منتخب مورد بررسی دقیق‌تری قرار گرفت تا از انطباق آن‌ها با معیارهای ورود و خروج اطمینان حاصل گردد. کیفیت پژوهش‌های وارد شده به طور کیفی مورد ارزیابی قرار گرفت و نکات کلیدی مربوط به طراحی مطالعه، حجم نمونه، پروتکل tDCS و نتایج گزارش شده استخراج شد. در نهایت، ۵۶ مقاله به دست آمد که با بررسی هر یک از مقالات و در نظر گرفتن میزان انطباق آن‌ها با هدف اصلی مطالعه و معیارهای ورود و خروج، ۱۵ مقاله واجد شرایط استفاده تشخیص داده شد.

یافته‌ها

پس از اتمام جستجو و مطابق با کلید واژه‌های مورد نظر، ۵۶ مقاله و پایان‌نامه مرتبط با موضوع پژوهش به دست آمد که با توجه به معیارهای ورود و خروج، ۱۴ مطالعه به بررسی اثربخشی روش tDCS بر کارکردهای اجرایی سرد و گرم کودکان مبتلا به ADHD پرداخته بودند. در تمامی تحقیقات انجام شده به جزء پژوهش‌های Guimarães و همکاران (۲۴) و وست وود و همکاران (۳۱)، مؤثر بودن این روش بر کارکردهای اجرایی سرد و گرم دانش‌آموزان مبتلا به ADHD گزارش شده بود. به عبارت دیگر، می‌توان گفت که در بیشتر مطالعات انجام شده با پروتکل تحریکی قشر پیش‌پیشانی جانبی- خلفی، کارکردهای اجرایی سرد مانند حافظه فعال، انعطاف‌پذیری شناختی، برنامه‌ریزی، توجه و بازداری پاسخ بهبود و ارتقا پیدا کرده بود (۲۶، ۲۵، ۲۳) و در تحقیقاتی با پروتکل‌های مرتبط با تحریک ناحیه قشر پیش‌پیشانی شکمی کارکردهای اجرایی گرم کودکان مبتلا به ADHD بهبود پیدا کرده بودند (۳۹، ۲۸) (جدول ۱).

بحث

هدف از انجام پژوهش حاضر، بررسی مطالعات مرتبط با تأثیر روش tDCS بر کارکردهای اجرایی سرد و گرم کودکان مبتلا به ADHD بود. به طور کلی، می‌توان گفت که در سال‌های اخیر تعداد بسیاری از تحقیقات اثربخشی روش tDCS بر بهبود علایم کودکان مبتلا به سایر اختلالات عصبی- رشدی مانند اوتیسم و اختلال یادگیری خاص را بررسی نموده‌اند (۴۲، ۴۰)؛ با این وجود در رابطه با پژوهش‌هایی که تاکنون به بررسی اثربخشی این روش بر روی کارکردهای اجرایی سرد و گرم کودکان مبتلا به ADHD پرداخته‌اند، نتایج متناقضی وجود دارد. به عبارت دیگر، نتایج برخی مطالعات بهبود کارکردهای اجرایی سرد (۲۶، ۲۲) و برخی بهبود و ارتقای کارکردهای اجرایی گرم را پس از پایان مداخلات مرتبط با روش tDCS گزارش کرده‌اند (۲۵).

http://jrrs.mui.ac.ir

جدول ۱. خلاصه مقالات بررسی شده

منابع	نوع مطالعه و تعداد افراد گروه نمونه	ابزارهای ارزیابی‌کننده کارکردهای اجرایی سرد و گرم	محل قرارگیری الکتروها	شرح جلسات	نتیجه
Wang و همکاران (۲۳)	کارآزمایی بالینی تصادفی یک سوکور با گروه شم (۱۶ نفر)	Stroop و برو- نرو	آزمایش اول: آند بر روی قشر پیش‌پیشانی جانبی- خلفی، کاتد بر روی قشر اوربیتوفرونتال راست. آزمایش دوم: کاتد بر روی قشر پیش‌پیشانی جانبی- خلفی چپ، آند بر روی قشر اوربیتوفرونتال چپ. آزمایش سوم: تحریک الکتریکی در حالت شم	یک جلسه ۲۰ دقیقه‌ای با شدت جریان یک میلی‌آمپر	تحریک آندال ناحیه قشر پیش‌پیشانی جانبی- خلفی، می‌تواند کنترل مهاری کودکان مبتلا به ADHD را بهبود بخشد.
Guimarães و همکاران (۲۴)	کارآزمایی تصادفی سه سوکور با گروه شم (۱۵ نفر)	خرده آزمون فراخنای ارقام Wechsler، آزمون بررسی حافظه Corsi block، آزمون توجه بصری نپسی	آند بر روی قشر پیش‌پیشانی جانبی- خلفی چپ، کاتد بر روی قشر اوربیتو فرونتال راست	پنج جلسه ۳۰ دقیقه‌ای با شدت جریان یک میلی‌آمپر	شرکت‌کنندگان هیچ سودی از شرکت در مداخله نبردند و تأثیر معنی‌داری در آن‌ها ایجاد نشد.
D'Aiello و همکاران (۲۵)	کارآزمایی تصادفی یک سوکور با گروه شم	آزمون حافظه فعال N-Back، آزمون نشانه توقف	آند بر روی قشر پیش‌پیشانی جانبی- خلفی چپ، کاتد بر روی قشر اوربیتو فرونتال راست	یک جلسه ۲۰ دقیقه‌ای با شدت جریان یک میلی‌آمپر	مکانیزم اثر یک جلسه tDCS مشابه با تأثیر مصرف تک دز متیل فنیدات بر حافظه کاری و کنترل مهاری کودکان مبتلا به ADHD است. این پروتکل بر روی توجه پایدار کودکان مبتلا به ADHD مؤثر است، اما بر سایر مؤلفه‌ها تأثیری ندارد. تحریک آندال قشر پیش‌پیشانی خلفی- جانبی، منجر به بهبود حافظه فعال و مهار تداخل کودکان مبتلا به ADHD می‌شود؛ این در حالی است که تحریک کاتدال این ناحیه کنترل مهاری را بهبود می‌بخشد. در نهایت، انعطاف‌پذیری شناختی و تغییر وظیفه نیز با پروتکل ترکیبی قشر اوربیتوفرونتال و قشر پیش‌پیشانی خلفی- جانبی امکان‌پذیر است.
Wang و همکاران (۲۶)	کارآزمایی تصادفی یک سوکور با گروه شم (۵۶ نفر)	برج Hanoi، Stroop، آزمون IVA	آند بر روی قشر اوربیتو فرونتال راست (FP2). چهار کاتد بر روی نواحی FPZ, F4, AF8, AF4	ده جلسه ۲۰ دقیقه‌ای با شدت جریان یک میلی‌آمپر	
نجاتی و همکاران (۲۷)	کارآزمایی تصادفی یک سوکور با گروه شم (۲۲ نفر)	برو- نرو، حافظه N-Back، WCST و Stroop	آزمایش اول: آند بر روی قشر پیش‌پیشانی خلفی- جانبی چپ، کاتد بر روی قشر پیش‌پیشانی خلفی- جانبی راست. آزمایش دوم: آند بر روی قشر پیش‌پیشانی خلفی- جانبی چپ، کاتد بر روی قشر اوربیتوفرونتال راست. آزمایش سوم: آند بر روی قشر اوربیتوفرونتال راست، کاتد بر روی قشر پیش‌پیشانی خلفی- جانبی چپ.	یک جلسه ۱۵ دقیقه‌ای با شدت جریان ۱/۵ میلی‌آمپر	
نجاتی و همکاران (۲۸)	کارآزمایی تصادفی یک سوکور با گروه شم (۲۰ نفر)	خطرپذیری بادکنکی، تخفیف تأخیر شکلات	آزمایش اول: آند بر روی قشر پیش‌پیشانی بطنی راست و کاتد بر روی قشر پیش‌پیشانی خلفی- جانبی چپ. آزمایش دوم: پروتکل معکوس آزمایش اول	برای هر آزمایش یک جلسه ۱۵ دقیقه‌ای با شدت جریان یک میلی‌آمپر	تحریک قشر پیش‌پیشانی خلفی- جانبی و قشر پیش‌پیشانی بطنی بر بهبود پردازش پاداش کودکان مبتلا به ADHD مؤثر است.
صالحی‌نژاد و همکاران (۲۹)	کارآزمایی تصادفی یک سوکور با گروه شم (۲۲ نفر)	حافظه فعال N-Back، WCST، برو- نرو و Flanker	تحریک آندال دو طرفه بر روی قشر پیش‌پیشانی خلفی- جانبی راست و چپ	یک جلسه ۱۵ دقیقه‌ای با شدت جریان ۱/۵ میلی‌آمپر	مدولاسیون دو طرفه آندال بر روی ناحیه قشر پیش‌پیشانی خلفی- جانبی اثر مفیدتری بر بهبود کارکردهای اجرایی کودکان مبتلا به ADHD دارد. پروتکل تحریکی مورد استفاده در این پژوهش کنترل تداخل در کودکان مبتلا به ADHD را بهبود می‌بخشد. نتایج حاکی از عدم اثربخشی پروتکل درمانی بود.
Breitling و همکاران (۳۰)	کارآزمایی تصادفی یک سوکور با گروه شم (۴۲ نفر)	Flanker	آزمایش اول: آند بر روی شکنج فرونتال تحتانی راست، کاتد بر روی استخوان ماستوئید چپ. آزمایش دوم: پروتکل معکوس آزمایش اول	یک جلسه ۲۰ دقیقه‌ای با شدت جریان یک میلی‌آمپر	
Westwod و همکاران (۳۱)	کارآزمایی تصادفی دو سوکور با گروه شم (۵۰ نفر)	الکتروانسفالوگرافی	آند بر روی قشر فرونتال تحتانی راست، کاتد بر روی قشر پیش‌پیشانی شکمی چپ	پانزده جلسه ۱ دقیقه‌ای با شدت جریان یک میلی‌آمپر	
Soff و همکاران (۳۲)	کارآزمایی تصادفی بالینی دو سوکور با گروه شم (۱۶ نفر)	آزمون حافظه فعال N-Back	آند بر روی قشر پیش‌پیشانی خلفی- جانبی چپ، کاتد بر روی نقطه مرکزی مغز	یک جلسه ۲۰ دقیقه‌ای با شدت جریان یک میلی‌آمپر	نتایج به دست آمده بیانگر این مطلب بود که یک جلسه تحریک آندال بر روی ناحیه قشر پیش‌پیشانی خلفی- جانبی چپ، نه تنها باعث فعال‌سازی این منطقه شد، بلکه در سایر مناطق مرتبط با حافظه فعال از جمله قشر پیش‌حرکتی چپ، قشر حرکتی تکمیلی چپ و پرکونئوس نیز افزایش فعالیت چشمگیری مشاهده گردید.

جدول ۱. خلاصه مقالات بررسی شده (ادامه)

منابع	نوع مطالعه و تعداد افراد گروه نمونه	ابزارهای ارزیابی‌کننده کارکردهای اجرایی سرد و گرم	محل قرارگیری الکتروها	شرح جلسات	نتیجه
عرفانی‌نسب و همکاران (۳۳)	کارآزمایی تصادفی بالینی یک سوکور با گروه شم (۲۴ نفر)	پرسش‌نامه BRIEF	آند بر روی قشر پیش‌پیشانی خلفی- جانبی چپ، کاتد بر روی قشر پیش‌پیشانی خلفی- جانبی راست	پانزده جلسه ۲۰ دقیقه‌ای با شدت جریان یک میلی‌آمپر	نتایج نشان‌دهنده بهبود کارکردهای اجرایی گروه آزمایش پس از انجام مداخله بود.
عموزاده و همکاران (۳۴)	نیمه آزمایشی با گروه آزمایش و شاهد (۴۵ نفر)	CPT	آند بر روی قشر پیش‌پیشانی خلفی- جانبی چپ، کاتد بر روی قشر پیش‌پیشانی راست.	ده جلسه ۱۵ دقیقه‌ای با شدت جریان یک میلی‌آمپر	نتایج بیانگر بهبود عملکرد کودکان مبتلا به ADHD در مؤلفه توجه مداوم دیداری بود.
آیت‌نیا و میرزایی (۳۵)	نیمه آزمایشی با گروه آزمایش و شاهد (۳۲ نفر)	آزمون حافظه فعال N-Back، پرسش‌نامه توانایی‌های شناختی نجاتی	آند بر روی قشر پیش‌پیشانی خلفی- جانبی چپ و کاتد بر روی قشر پیش‌پیشانی خلفی- جانبی راست	هجده جلسه ۳۰ دقیقه‌ای با شدت جریان ۱/۵ میلی‌آمپر	بهبود توانایی‌های شناختی و حافظه فعال کودکان مبتلا به ADHD از نتایج پژوهش بود.
فتاحی اندبیل و همکاران (۳۶)	نیمه آزمایشی با گروه آزمایش و شاهد (۳۶ نفر)	آزمون حافظه فعال N-Back، آزمون برو- نرو	آند بر روی قشر پیش‌پیشانی خلفی- جانبی چپ و کاتد بر روی قشر پیش‌پیشانی خلفی- جانبی راست	ده جلسه ۱۰ دقیقه‌ای با شدت جریان یک میلی‌آمپر	نتایج بیانگر مؤثر بودن این روش بر حافظه فعال و بازداری پاسخ کودکان مبتلا به ADHD بود.
عرفانی‌نسب (۳۷)	کارآزمایی بالینی تصادفی یک سوکور (۲۴ نفر)	آزمون حافظه فعال N-Back، آزمون Stroop، آزمون برو- نرو	آند بر روی قشر پیش‌پیشانی خلفی- جانبی چپ و کاتد بر روی قشر پیش‌پیشانی خلفی- جانبی راست	پانزده جلسه ۱۰ دقیقه‌ای با شدت جریان یک میلی‌آمپر	بهبود کارکردهای اجرایی سرد به جزء بازداری پاسخ به دنبال شرکت در جلسات مداخله tDCS
استاجی و همکاران (۳۸)	کارآزمایی بالینی تصادفی یک سوکور (۲۴ نفر)	چک‌لیست تنظیم هیجان، پرسش‌نامه BRIEF، تکلیف برو- نرو هیجانی، تکلیف N-Back هیجانی	سه جلسه تحریک متفاوت و ترکیبی در نواحی قشر پیش‌پیشانی خلفی- جانبی، قشر پیش‌پیشانی شکمی- میانی، قطب پیشانی طرف چپ و در جایروس اوربیتال و قطب پیشانی طرف راست و در جایروس اوربیتال	یک جلسه ۲۰ دقیقه‌ای با شدت جریان دو میلی‌آمپر	بهبود تنظیم هیجان در دو پروتکل ترکیبی

IVA: Integrated Visual and Auditory; WCST: Wisconsin Card Sorting Test; BRIEF: Behavior Rating Inventory of Executive Function; CPT: Continuous Performance Test; tDCS: Transcranial direct current stimulation; ADHD: Attention deficit hyperactivity disorder

برخی محققان همچون Westwood و همکاران، روش tDCS را روش تأثیرگذاری بر بهبود کارکردهای اجرایی این گروه از کودکان گزارش نکردند (۳۱) که علت این تفاوت را می‌توان استفاده از پروتکل‌های الکترودگذاری متفاوت بیان کرد. به منظور ارایه توضیحات بیشتر در رابطه با تأثیرگذاری پروتکل‌ها، می‌توان گفت که در سال‌های اخیر مجموعه بزرگ و قانع‌کننده‌ای از شواهد حاصل از مطالعات تصویربرداری از مغز نشان می‌دهند که مناطقی از نواحی کورتیکال و ساب‌کورتیکال مغز همچون قشر پیش‌پیشانی داخلی و جداری به ویژه قشر اوربیتوفرونتال و قشر پیش‌پیشانی بطنی- جانبی، آمیگدالا، ناحیه اینسولا، سیستم لیمبیک و جسم مخطط در کارکردهای اجرایی مرتبط با پاداش، احساسات، انگیزه و ارزیابی اجتماعی نقش دارند؛ در حالی که مناطقی همچون قشر پیش‌پیشانی جانبی به ویژه قشر پیش‌پیشانی خلفی- جانبی و قشر پیش‌پیشانی بطنی- جانبی، هیپوکامپ، گره‌های پایه و قشر سینگولیت قدامی در فعال‌سازی کارکردهای اجرایی سرد نقش مهمی ایفا می‌کنند. به بیان دیگر، می‌توان گفت، با وجود شواهد قانع‌کننده‌ای مبنی بر نقش کلیدی ناحیه قشر پیش‌پیشانی در مدیریت و پشتیبانی از کارکردهای اجرایی در مغز، این ناحیه تنها منطقه کورتیکال مرتبط با کارکردهای اجرایی نیست و به عنوان بخشی از یک شبکه مغزی بزرگ‌تر (Fronto-Cingulo-Parietal) در نظر گرفته می‌شود که از کارکردهای اجرایی با استفاده از تعامل ساختارهای مختلف کورتیکال و ساب‌کورتیکال مغز پشتیبانی می‌کند. به عبارت دیگر، کارکردهای اجرایی توسط یک شبکه شناختی پیچیده و با پشتیبانی ناحیه PFC به عنوان یک منطقه اثرگذار مدیریت می‌شود (۴۰-۳۷). در نهایت، همه این موارد می‌توانند توجیه‌کننده اثربخش‌بودن روش tDCS بر کارکردهای اجرایی سرد و گرم کودکان مبتلا به ADHD در صورت استفاده از پروتکل الکترودگذاری مناسب باشند.

می‌توان کارکردهای اجرایی سرد (Cool executive functions) را به حافظه کاری و توجه (Working memory and attention)، بازداری (Inhibition) و انعطاف‌پذیری شناختی (Cognitive flexibility) تقسیم‌بندی کرد. در مورد حافظه کاری و توجه، نتایج مطالعات نشان داده است که تحریک آندال نواحی مرتبط با حافظه کاری و توجه مانند قشر پیش‌پیشانی جانبی- پشتی (dlPFC)، منجر به بهبود قابل توجهی در عملکرد حافظه کاری و توجه کودکان مبتلا به ADHD شده است (۳۴، ۲۷، ۲۵). شواهد در حوزه بازداری نشان می‌دهد که روش tDCS به ویژه با تحریک آندال بر نواحی مرتبط با کنترل بازداری مانند قشر پیش‌پیشانی پشتی- جانبی (dlPFC)، می‌تواند توانایی کودکان مبتلا به ADHD را در کنترل تکانه و جلوگیری از پاسخ‌های نامناسب بهبود بخشد (۳۳، ۲۹). نتایج برخی تحقیقات حاکی از آن است که تحریک نواحی خاصی از قشر پیش‌پیشانی می‌تواند انعطاف‌پذیری شناختی، یعنی توانایی تغییر رویکرد و تطبیق با موقعیت‌های جدید را در این کودکان تقویت کند (۳۳). از طرف دیگر، کارکردهای اجرایی گرم (Hot executive functions) مشتمل بر تنظیم هیجانی (Emotional regulation) است. ارتباط بین tDCS و تنظیم هیجانی در کودکان مبتلا به ADHD کمتر بررسی شده است. با این حال، با توجه به هم‌پوشانی نواحی مغزی درگیر در تنظیم هیجان و کارکردهای اجرایی، برخی پروتکل‌های تحریک به ویژه تحریک نواحی پیش‌پیشانی، ممکن است به طور غیر مستقیم بر بهبود تنظیم هیجانی نیز تأثیر بگذارند (۳۹، ۲۸).

محدودیت‌ها

ذکر این نکته ضروری به نظر می‌رسد که پژوهش حاضر نیز مانند سایر مطالعات در کنار دستاوردهای خود دارای محدودیت‌هایی بود که با در نظر گرفتن و رفع این محدودیت‌ها در تحقیقات آینده، می‌توان به نتایج قابل استنادتری دست یافت. یکی از محدودیت‌ها، تعداد کم مقالات موجود در زمینه اثربخشی روش tDCS به منظور بهبود کارکردهای اجرایی گرم کودکان مبتلا به ADHD بود. بنابراین، پیشنهاد می‌شود در این زمینه پژوهش‌های بیشتری انجام شود. علاوه بر موارد بیان شده، می‌توان به جستجو در یک پایگاه داده فارسی، نبود استاندارد واحد برای تعداد جلسات و شدت جریان، تفاوت در ابزارهای ارزیابی کارکردهای اجرایی و محدودیت در تعمیم نتایج به جمعیت‌های مختلف اشاره کرد. همچنین، به نظر می‌رسد که پروتکل‌های چند جلسه‌ای tDCS (۱۰ تا ۲۰ جلسه یا بیشتر) نسبت به پروتکل‌های تک جلسه‌ای، اثرات پایدارتر و قوی‌تری بر کارکردهای اجرایی کودکان مبتلا به ADHD دارند. مطالعات تک جلسه‌ای به طور عمده اثرات کوتاه‌مدت و گذرا را نشان داده‌اند که ممکن است برای ارزیابی اثربخشی بلندمدت کافی نباشد. بنابراین، استفاده از تحقیقات با پروتکل‌های تک جلسه‌ای نیز از محدودیت‌های پژوهش حاضر به شمار می‌رود.

پیشنهادها

با توجه به یافته‌های مطالعات اخیر، پیشنهاد می‌شود که با بررسی بیشتر تحقیقات جدید تصویربرداری از مغز، پژوهش‌های بیشتر و پروتکل‌های الکترودگذاری دقیق‌تر به منظور درمان علایم مرتبط با ADHD در کودکان طراحی و انجام شود.

نتیجه‌گیری

با توجه به ضعف کودکان مبتلا به ADHD در مؤلفه‌های مرتبط با کارکردهای اجرایی و ارتباط آن با عملکرد ضعیف این کودکان در توانایی‌های مرتبط با عملکرد تحصیلی و همچنین، یافته‌های پژوهشی دال بر اثربخشی روش tDCS بر بهبود کارکردهای اجرایی در این کودکان، می‌توان بیان کرد که بر اساس نتایج به دست آمده از مطالعات سال‌های گذشته، استفاده از روش‌های تعدیل عصبی مغز همچون tDCS می‌تواند تأثیر مثبتی بر کارکردهای اجرایی و در نهایت، عملکرد و پیشرفت تحصیلی این دسته از کودکان داشته باشد. هرچند نتایج امیدوارکننده هستند، اما برای دستیابی به نتایج متقن‌تر و تعمیم‌پذیری بیشتر، انجام تحقیقات آینده با دامنه گسترده‌تر، حجم نمونه بزرگ‌تر و پروتکل‌های استاندارد شده ضروری به نظر می‌رسد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از تمام افرادی که در انجام پژوهش حاضر همکاری نمودند، تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

نقش نویسندگان

طراحی و ایده‌پردازی پروژه: محدثه عرفانی‌نسب
جذب منابع مالی برای انجام پروژه: پژوهش حاضر فاقد حامی مالی است.
خدمات پشتیبانی و اجرایی و علمی پروژه: سالار فرامرزی
جمع‌آوری داده‌ها: محدثه عرفانی‌نسب
تحلیل و تفسیر نتایج: محدثه عرفانی‌نسب، سالار فرامرزی

ارزیابی تخصصی دست‌نوشته از نظر مفاهیم علمی: سالار فرامرزی
تأیید دست‌نوشته نهایی جهت ارسال به دفتر مجله: سالار فرامرزی
مسؤولیت حفظ یکپارچگی فرایند انجام مطالعه از آغاز تا انتشار و پاسخگویی به نظرات داوران: محدثه عرفانی‌نسب، سالار فرامرزی

منابع مالی

مطالعه حاضر با هزینه شخصی پژوهشگران انجام شد و منابع مالی ندارد.

دانشگاه اصفهان در جمع‌آوری داده‌ها، تحلیل و گزارش آن‌ها، تنظیم دست‌نوشته و تأیید نهایی مقاله برای انتشار اعمال نظر نداشته است.

تعارض منافع

نویسندگان دارای تعارض منافع نمی‌باشند.

References

1. American Psychiatric Association, D. S. M. T. F., & American Psychiatric Association. (2013). Diagnostic and statistical manual of mental disorders: DSM-5 (Vol. 5, No. 5). Washington, DC: American psychiatric association.
2. Nigg J, Sibley H, Thapar A, Karalunas L. Development of ADHD: salience of heterogeneity in child temperament and adolescent course. Annual Review of Developmental Psychology 2020; 2(1): 559-83.
3. Bora E, Pantelis C. Meta-analysis of social cognition in attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD): comparison with healthy controls and autistic spectrum disorder. Psychological medicine 2016; 46(4): 699-716.
4. Pineda-Alhucema W, Aristizabal E, Escudero-Cabarcas J, Acosta-Lopez E, Vélez I. Executive function and theory of mind in children with ADHD: A systematic review. Neuropsychology review 2016; (28): 341-58.
5. Rubia K. Cognitive neuroscience of attention deficit hyperactivity disorder (ADHD) and its clinical translation. Frontiers in human neuroscience 2018; 12: 100.
6. Diamond A. Executive functions. Annual review of psychology 2013; 64(1): 135-68.
7. Pineda-Alhucema W, Aristizabal E, Escudero-Cabarcas J, Acosta-Lopez JE, Velez J. I Executive function and theory of mind in children with ADHD: A systematic review. Neuropsychology review 2018; 28(3): 341-58.
8. Peng P, Kievit RA. The development of academic achievement and cognitive abilities: A bidirectional perspective. Child Development Perspectives 2020; 14: 15-20.
9. Kumar U, Arya A, Agarwal V. Altered functional connectivity in children with ADHD while performing cognitive control task. Psychiatry ResearchNeuroimaging 2022; (326): 111-531.
10. Tegelbeckers J, Kanowski M, Krauel K, Haynes D, Breitling C, Flechtner H, et al. Orbitofrontal signaling of future reward is associated with hyperactivity in attention-deficit/hyperactivity disorder. Journal of Neuroscience 2018; 38(30): 6779-86.
11. Salehinejad MA, Ghanavati E, Rashid MHA, Nitsche MA. Hot and cold executive functions in the brain: A prefrontal-cingular network. Brain and Neuroscience Advances 2021; 5: 1-15.
12. Dedoncker J, Brunoni AR, Baeken C, Vanderhasselt MA. A systematic review and meta-analysis of the effects of transcranial direct current stimulation (tDCS) over the dorsolateral prefrontal cortex in healthy and neuropsychiatric samples: influence of stimulation parameters. Brain stimulation 2016; 9(4): 501-17.
13. DaSilva AF, Volz MS, Bikson M, Fregni F. Electrode Positioning and Montage in Transcranial Direct Current Stimulation. J. Vis. Exp 2011; (51): 2744.
14. Fregni F, El-Hagrassy MM, Pacheco-Barrios K, Carvalho S, Leite J, Simis M, Brunoni AR. Evidence-based guidelines and secondary meta-analysis for the use of transcranial direct current stimulation in neurological and psychiatric disorders. International Journal of Neuropsychopharmacology 2021; 24(4): 256-313.
15. Nitsche M, Boggio S, Fregni F, Pascual-Leone A. Treatment of depression with transcranial direct current stimulation (tDCS): a review. Experimental neurology 2009; 219(1): 14-9.
16. Jamil A, Batsikadze G, Kuo H I, Labruna L, Hasan A, Paulus W, Nitsche MA. Systematic evaluation of the impact of stimulation intensity on neuroplastic after-effects induced by transcranial direct current stimulation. The Journal of physiology 2017; 595(4): 1273-88.
17. Salehinejad MA, Wischnewski M, Nejati V, Vicario CM, Nitsche MA. Transcranial direct current stimulation in attention-deficit hyperactivity disorder: A meta-analysis of neuropsychological deficits. PloS one2019; 14(4): e0215095.
18. Splittgerber M, Borzikowsky C, Salvador R, Puonti O, Papadimitriou K, Merschformann C, et al. Multichannel anodal tDCS over the left dorsolateral prefrontal cortex in a paediatric population. Scientific reports 2021; 11(1): 215-12.
19. Salemi MH, Sobhi-Gharamaleki N. The Effectiveness of Transcranial Direct Current Stimulation for the Treatment of Various Mental Disorders: A Narrative Review. Journal of Health Reports and Technology 2024; 10(1): 1-8.
20. Salehinejad MA, Ghanavati E, Rashid MHA, Nitsche MA. Hot and cold executive functions in the brain: A prefrontal-cingular network. Brain and Neuroscience Advances 2021; 5(1): 34-42.
21. Nanda P, Tandon N, Mathew IT, Padmanabhan JL, Clementz BA, Pearlson et al. Impulsivity across the psychosis spectrum: correlates of cortical volume, suicidal history, and social and global function. Schizophrenia research 2016; 170(1): 80-6.
22. Li X, Cao Q, Pu F, Li D, Fan Y, An L, et al. Abnormalities of structural covariance networks in drug-naïve boys with attention deficit hyperactivity disorder. Psychiatry Research Neuroimaging 2015; 231(3): 273-8.
23. Wang P, Wang J, Jiang Y, Wang Z, Meng C, Castellanos FX, et al. Cerebro-cerebellar Dysconnectivity in Children and

Adolescents With Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry 2022; 61(11): 1372-84.
24. Guimarães RSQ, Bandeira ID, Barretto BL, Wanke T, Alves COC, Barretto TL, et al. Efficacy and safety of transcranial direct current stimulation over the left dorsolateral prefrontal cortex in children and adolescents with attention-deficit/hyperactivity disorder: a randomized, triple-blinded, sham-controlled, crossover trial. Frontiers in Psychiatry 2024; 14: 1217407.
25. D'Aiello B, Battisti A, Lazzaro G, Pani P, De Rossi P, Di Vara, S, et al. Comparing the effect of methylphenidate and anodal tDCS on inhibitory control and working-memory in children and adolescents with attention deficit/hyperactivity disorder: A study protocol for a randomized, within-subject trial. International Journal of Environmental Research and Public Health 2022; 19(8): 45-75.
26. Wang YC, Liu J, Wu YC, Wei Y, Xie HJ, Zhang T, et al. A randomized, sham-controlled trial of high-definition transcranial direct current stimulation on the right orbital frontal cortex in children and adolescents with attention-deficit hyperactivity disorder. Frontiers in Psychiatry 2023; (14): 987093.
27. Nejati V, Salehinejad MA, Nitsche MA, Najian A, Javadi AH. Transcranial direct current stimulation improves executive dysfunctions in ADHD: implications for inhibitory control, interference control, working memory, and cognitive flexibility. Journal of attention disorders 2020; 24(13): 1928-43.
28. Nejati V, Sarraj Khorrami A, Nitsche MA. Transcranial direct current stimulation improves reward processing in children with ADHD. Journal of attention disorders 2021; 25(11): 1623-31.
29. Salehinejad MA, Vosough Y, Nejati V. The impact of bilateral anodal tDCS over left and right DLPFC on executive functions in children with ADHD. Brain Sciences 2022; 12(8): 1098.
30. Breitling C, Zaehle T, Dannhauer M, Bonath B, Tegelbeckers J Flechtner H. H, et al. Improving interference control in ADHD patients with transcranial direct current stimulation (tDCS). Frontiers in cellular neuroscience 2016; 10(72): 1662-5102.
31. Westwood SJ, Criaud M, Lam SL, Lukito S, Wallace-Hanlon S, Kowalczyk OS, et al. Transcranial direct current stimulation (tDCS) combined with cognitive training in adolescent boys with ADHD: a double-blind, randomised, sham-controlled trial. Psychological Medicine 2023; 53(2): 497-512.
32. Soff C, Sotnikova A, Christiansen H, Becker K, Siniatchkin M. Transcranial direct current stimulation improves clinical symptoms in adolescents with attention deficit hyperactivity disorder. Journal of Neural Transmission 2017; (124): 133-44.
33. Erfani Nasab M, Faramarzi S, Sharifi A. The Effectiveness of Transcranial Direct Current Stimulation along with Computerized Cognitive Training on the Executive Functions and Academic Performance of Students with Specific Learning Disorder comorbid with Attention Deficit Hyperactivity Disorder. Journal of Cognitive strategies in learning 2023; 1-10.
34. Amouzadeh F, Moradi H, Gharayagh Zandi H, Rostami R, Moghadamzadeh A. Impact of Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) on the visual sustain attention of ADHD student-athletes. Journal of Sports and Motor Development and Learning 2022; 14(2): 17-33.
35. Ayatnia F, Mirzaie P. Investigate the Effect Transcranial Direct-Current Stimulation of Brain (tdcs) on Cognitive Ability and Working Memory of Students with Attention Deficit Hyperactivity Disorder. Neuropsychology 2022; 7(27): 37-46.
36. Fattahi Andebil A, Saberi H, Kazemi Kavaki A. Effectiveness of Cognitive behavioral group Play therapy and Transcranial Direct Current Stimulation on Executive Function of Working Memory And Response Inhibition of Children with Attention Deficit-Hyperactivity Disorder. Neuropsychology 2018; 4(14): 73-90.
37. Erfani Nasab M. The Effectiveness of Transcranial Direct Current Stimulation along with Computerized Cognitive Training on the Executive Functions and Academic Performance of Students with Specific Learning Disorder Comorbid with Attention Deficit/Hyperactivity Disorder{dissertation}. Iran: Univ. Isf; 2023.
38. Estaji R, Hosseinzadeh M, Arabgol F, Nejati V. Transcranial direct current stimulation (tDCS) improves emotion regulation in children with attention-deficit hyperactivity disorder (ADHD). Scientific Reports 2024; 14(1): 13889.
39. Mahmoodifar E, Movahedi A, Arabameri E, Faramarzi S. The effects of transcranial direct current stimulation and selective motor training on gross motor skills in children with autism spectrum disorders. Motor Behavior 2018; 10(32): 79-96.
40. Patai EZ, Spiers HJ. The versatile wayfinder: prefrontal contributions to spatial navigation. Trends in cognitive sciences 2021; 25(6): 520-33.
41. Rolls ET, Cheng W, Du J, Wei D, Qiu J, Dai D, et al. Functional connectivity of the right inferior frontal gyrus and orbitofrontal cortex in depression. Social cognitive and affective neuroscience 2020; 15(1): 75-86.
42. Matyi MA, Spielberg JM. Differential spatial patterns of structural connectivity of amygdala nuclei with orbitofrontal cortex. Human Brain Mapping 2021; 42(5): 1391-1405.

DOI: 10.48305/jrrs.2026.42721.1092 Published by Vesnu Publications

The Effect of Optimized Electrode Placement Protocols for Transcranial Direct Current Stimulation on the Cold and Hot Executive Functions of Children with Attention Deficit Hyperactivity Disorder: A Scoping Review

Mohadeseh Erfaninasab[1], Salar Faramarzi[2]

Review Article

Abstract

Introduction: Attention deficit/hyperactivity disorder (ADHD) is a chronic neurodevelopmental disorder characterized by complex and heterogeneous clinical manifestations, including disruptive and inappropriate levels of inattention, hyperactivity, and impulsivity, which cause significant dysfunctions in the mechanisms related to hot and cold executive functions. This disorder directly affects processes such as working memory, attention, response inhibition, emotional self-regulation, planning, cognitive flexibility, reaction time manipulation, preference for immediate rewards, and decision-making. Given the significance of executive functions in essential daily living skills and their prominent role in neurodevelopmental disorders, many studies have examined the effectiveness of various approaches, such as neuromodulation strategies, in improving these functions. Therefore, the present review was conducted to investigate the effect of transcranial direct current stimulation (tDCS) on cold and hot executive functions of children with ADHD.

Materials and Methods: This study was conducted as a scoping review. To identify relevant studies, a comprehensive search was performed across several international databases, including Web of Science, ScienceDirect, Scopus, PubMed, and Google Scholar, using English keywords such as ‘Transcranial Direct Current Stimulation’, ‘tDCS’, ‘Hot and Cold Executive Functions’, ‘Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder’, ‘ADHD’, and ‘Brain Neuromodulation’. Additionally, the Persian Scientific Information Database (SID) was searched using equivalent Persian keywords to identify relevant local studies. Ultimately, 15 studies met the inclusion criteria and underwent full-text analysis.

Results: tDCS generally demonstrates significant potential for improving executive functions in children with ADHD. Numerous studies suggest that this method works by modulating the excitability of brain regions associated with executive functions, particularly the prefrontal cortex (PFC). tDCS appears to enhance aspects of cold executive functions, such as working memory and cognitive flexibility, by increasing activity or altering the excitation/inhibition balance in these areas. Regarding hot executive functions, evidence also supports the impact of tDCS on emotional regulation and impulse control. However, results in this area may be more variable due to differences in electrode placement protocols and targeted regions. Some research emphasizes the importance of precise tDCS protocol selection, including current intensity, stimulation duration, and electrode placement (especially on prefrontal areas), for achieving optimal efficacy.

Conclusion: Utilizing appropriate protocols for electrode placement across a variety of brain neuromodulation methods, including tDCS, can be a promising treatment for improving symptoms in children with ADHD.

Keywords: Transcranial direct current stimulation; Cold executive functions; Hot executive functions; Children; Attention deficit-hyperactivity disorder

Citation: Erfaninasab M, Faramarzi S. **The Effect of Optimized Electrode Placement Protocols for Transcranial Direct Current Stimulation on the Cold and Hot Executive Functions of Children with Attention Deficit Hyperactivity Disorder: A Scoping Review.** J Res Rehabil Sci 2024; 20.

Received date: 31.12.2023 Accept date: 04.02.2024 Published: 03.04.2024

1- MSc, Department of Psychology and Education of People with Special Needs, School of Educational Sciences and Psychology, University of Isfahan, Isfahan, Iran
2- Professor, Department of Psychology and Education of People with Special Needs, School of Educational Sciences and Psychology, University of Isfahan, Isfahan, Iran
Corresponding Author: Salar Faramarzi; Professor, Department of Psychology and Education of People with Special Needs, School of Educational Sciences and Psychology, University of Isfahan, Isfahan, Iran; Email: s.faramarzi@edu.ui.ac.ir