MEJDS. 2023; 13:102.
Published online 2023 Oct. **Original Article**

Investigating the Effect of Transcranial Direct-Current Stimulation in the Primary Motor Cortex on the Speed of Hand Preference Transfer in Children with Learning Disability in Overt and Covert Learning Conditions

Nasiri S[1], *Shahbazi M[1], Tahmasebi Boroujeni Sh[1], Saeidmanesh M[2]

Author Address
1. Department of Motor Behavior, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran;
2. Department of Psychology, Science and Arts University, Yazd, Iran.
***Corresponding Author E-mail:** shahbazimehdi@ut.ac.ir

Received: 2022 April 2; **Accepted:** 2022 July 5

Abstract

Background & Objectives: A learning disability is a developmental neurological disorder of biological origin, causing abnormalities at the cognitive level. Psychomotor development relies on the organization of the body program, body balance, and lateral superiority. Motor skills play a significant role in children's learning and development of academic and social skills. Transcranial Direct-Current Stimulation (tDCS) of the brain, a noninvasive technique, is used to treat neurological and psychiatric disorders. The portable tDCS is a wearable brain stimulation technique that delivers a low electric current to the scalp. tDCS neuromodulation technique produces immediate and lasting changes in brain function. This study aimed to investigate the effect of tDCS in the primary motor cortex on the speed of hand preference transfer in children with learning disabilities in overt and covert learning conditions .

Methods: The current research method was quasi-experimental with a pretest-posttest design and a control group. The study population comprised 220 children with learning disabilities referred to the Yazd Education District clinics, in Yazd City, Iran. The study sample included 60 right-handed children with learning disabilities, aged 9-12 years. The subjects were randomly divided into four groups of 15 students. Thirty children were randomly placed in two groups of 15: explicit learning intervention and explicit learning control. Similarly, 30 other children were divided into two groups of 15: implicit learning intervention and implicit learning control. The inclusion criteria were as follows: having an age range of 9-12 years, diagnosis of learning disorder (based on psychiatric records available in children's counseling and rehabilitation centers), no disorder associated with learning disorder, right-handedness (based on the Edinburgh Handedness Inventory), having normal intelligence (according to the Wechsler Intelligence Scale), not taking psychiatric medication, lacking vision and hearing defects and history of seizures, and consent of their parents to participate in this study. The exclusion criteria were as follows: observation of seizures during stimulation sessions and regular non-attendance in tDCS sessions. Before the intervention, the subjects were administered the Serial Reaction Time Task software (Nissen & Bullemer, 1987) and the Edinburgh Handedness Inventory (Oldfield, 1971). The children in the intervention group received 1.5 mA transcranial electrical brain stimulation treatment for 20 minutes in 10 continuous daily sessions. After the intervention, the children were asked to perform the Serial Reaction Time Task. To analyze the obtained data, descriptive statistics indices, including mean and standard deviation, and inferential statistics, including mixed variance analysis, Bonferroni post hoc test, and correlated *t* test, were performed using SPSS version 18 software. The significance level for all tests was 0.05.

Results: The results for the speed of hand preference transfer of the left hand of children with learning disabilities showed that the main effect of block and learning type were significant ($p<0.001$). However, other effects were not significant ($p>0.05$). The results for the speed of hand preference transfer of the right hand of children with learning disabilities showed that the main effects of block and brain stimulation and the interactive effect of block and type of learning were significant ($p<0.001$). However, other effects were not significant ($p>0.05$).

Conclusion: According to the results, the effect of tDCS in the primary motor cortex on the speed of between-hand transfer in children with learning disabilities is effective in overt and covert learning conditions. Therefore, this treatment can be used along with other treatment methods in children with learning disabilities.

Keywords: Transcranial direct-current stimulation, Primary motor cortex, Hands preference transfer speed, Learning disability.

[Downloaded from jdisabilstud.org on 2026-06-15]

Copyright © 2023, MEJDS. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cited.

مجله مطالعات ناتوانی ۱۴۰۲؛ (۱۳):۱۰۲.

انتشار برخط مهرماه ۱۴۰۲ مقاله پژوهشی اصیل

بررسی تأثیر تحریک جریان مستقیم الکتریکی فراجمجمه‌ای در قشر حرکتی اولیه بر سرعت انتقال بین‌دستی کودکان دارای اختلال یادگیری در شرایط یادگیری آشکار و پنهان

سوسن نصیری[۱]، *مهدی شهبازی[۱]، شهرزاد طهماسبی بروجنی[۱]، محسن سعیدمنش[۲]

توضیحات نویسندگان

۱. گروه رفتار حرکتی، دانشکدهٔ تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه تهران، تهران، ایران؛

۲. گروه روان‌شناسی، دانشکدهٔ علوم انسانی، دانشگاه علم و هنر، یزد، ایران.

***رایانامهٔ نویسندهٔ مسئول:** shahbazimehdi@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳فروردین۱۴۰۱؛ **تاریخ پذیرش:** ۱۴تیر۱۴۰۱

چکیده

زمینه و هدف: تحریک مستقیم الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز به‌عنوان یکی از تکنیک‌های غیرتهاجمی مغز، برای درمان اختلالات نورولوژیک و روان‌پزشکی کاربرد دارد. هدف این پژوهش، بررسی تأثیر تحریک جریان مستقیم الکتریکی فراجمجمه‌ای در قشر حرکتی اولیه بر سرعت انتقال بین‌دستی کودکان دارای اختلال یادگیری در شرایط یادگیری آشکار و پنهان بود.

روش‌بررسی: روش پژوهش، نیمه‌آزمایشی با طرح پیش‌آزمون و پس‌آزمون همراه با گروه گواه بود. جامعهٔ آماری پژوهش را کودکان دارای اختلال یادگیری مراجعه‌کننده به کلینیک ناحیهٔ یک آموزش‌وپرورش یزد به‌تعداد ۲۲۰ دانش‌آموز تشکیل دادند. نمونهٔ آماری، سی کودک در دو گروه پانزده‌نفرهٔ مداخلهٔ یادگیری آشکار و گواه یادگیری آشکار و سی کودک در دو گروه پانزده‌نفرهٔ مداخلهٔ یادگیری پنهان و گواه یادگیری پنهان قرار گرفتند. قبل از انجام مداخله، نرم‌افزار تکلیف زمان عکس‌العمل متوالی (نیستن و بولمر، ۱۹۸۷) و پرسش‌نامهٔ دست‌برتری ادینبورگ (اولدفیلد، ۱۹۷۱) برای افراد اجرا شد. سپس آزمودنی‌های گروه مداخله در ده جلسهٔ روزانهٔ مداوم، درمان تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز ۱/۵میلی‌آمپری را به‌مدت بیست دقیقه دریافت کردند. در ادامه از کودکان مجدد تکلیف زمان عکس‌العمل متوالی گرفته شد. تحلیل داده‌ها با استفاده از آزمون تحلیل واریانس آمیخته، آزمون تعقیبی بونفرونی و آزمون تی همبسته در سطح معناداری ۰/۰۵ ازطریق نرم‌افزار SPSS نسخهٔ ۱۸ انجام شد.

یافته‌ها: نتایج برای سرعت انتقال بین‌دستی دست چپ کودکان دارای اختلال یادگیری نشان داد، اثر اصلی بلوک و اثر اصلی نوع یادگیری معنادار بود ($p<۰/۰۰۱$)؛ ولی سایر اثرات معنادار نبود ($p>۰/۰۵$). نتایج برای سرعت انتقال بین‌دستی دست راست کودکان دارای اختلال یادگیری نشان داد، اثرات اصلی بلوک و تحریک مغزی و اثر تعاملی بلوک و نوع یادگیری معنادار بود ($p<۰/۰۰۱$)؛ ولی سایر اثرات معنادار نبود ($p>۰/۰۵$).

نتیجه‌گیری: براساس نتایج، تحریک جریان مستقیم الکتریکی فراجمجمه‌ای در قشر حرکتی اولیه سرعت انتقال بین‌دستی کودکان دارای اختلال یادگیری را در شرایط یادگیری آشکار و پنهان بهبود می‌بخشد؛ ازاین‌رو می‌توان از این درمان در کنار سایر روش‌های درمانی در کودکان اختلال یادگیری استفاده کرد.

کلیدواژه‌ها: تحریک جریان مستقیم الکتریکی فراجمجمه‌ای، قشر حرکتی اولیه، سرعت انتقال بین‌دستی، اختلال یادگیری.

حق انتشار محفوظ است © ۱۴۰۲، مجله مطالعات ناتوانی. این یک مقاله با دسترسی آزاد است که تحت مجوز اختیار_غیرتجاری ۴/۰ بین‌المللی (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.fa) منتشر شده است که به شما اجازه می‌دهد که مواد منتشر شده در این مقاله را با شرط ارجاع مناسب به نسخهٔ اصلی، به‌طور غیرتجاری نسخه‌برداری و توزیع کنید.

[Downloaded from jdisabilstud.org on 2026-06-15]

۱ مقدمه

همهٔ دانش‌آموزان در سنین و مقاطع مختلف تحصیلی از نظر سطح یادگیری یکسان نیستند. بسیاری از کودکان هنگام رفتن به مدرسه با مشکلات آموزشی جدی مواجه می‌شوند (۱). براساس نسخهٔ پنجم راهنمای تشخیصی و آماری اختلالات روانی ، اختلال یادگیری[1] خاص، اختلالی رشدی‌عصبی زیست تخریب‌پذیر است که باعث بروز ناهنجاری‌های شناختی می‌شود. از ویژگی‌های اصلی ناتوانی یادگیری خاص، مشکلات مداوم در مهارت‌های اصلی تحصیلی است که شامل روان‌خواندن، درک مطلب، بیان نوشتاری و استدلال ریاضی می‌شود. شیوع این اختلال در کودکان دبستانی ۳تا۱۷/۵درصد گزارش شده است (۲). در ایران، شیوع کلی ۴/۵۸درصد برای کودکان دارای ناتوانی یادگیری در دانش‌آموزان دبستانی به‌دست آمده است (۳).

اختلال یادگیری، اصطلاحی کلی است که برای اشاره به گروه ناهمگنی از اختلالات استفاده می‌شود. این امر ذاتی خود فرد به‌شمار می‌رود و استنباط می‌شود که علت آن نقص در سیستم عصبی مرکزی است. برای تشخیص ناتوانی‌های یادگیری، این مشکلات نباید نتیجهٔ مستقیم ناتوانی‌هایی مانند اختلالات بینایی، ناتوانی‌های ذهنی و اختلالات عاطفی و اجتماعی و...، یا تأثیرات اجتماعی مانند آموزش ناکافی و تفاوت‌های فرهنگی باشد (۴). افراد مبتلا به ناتوانی‌های یادگیری معمولاً قبل از مدرسه شناخته نمی‌شوند؛ زیرا این ناتوانی‌ها در مدرسه ظاهر می‌شود؛ افرادی با توزیع هوش طبیعی، اما در املا و حساب و خواندن مشکل دارند (۵). به‌طورکلی، دامنهٔ ناتوانی‌های یادگیری از ۱تا۳۰درصد تخمین زده می‌شود. از نظر متغیر سن، تعداد دانش‌آموزان دارای ناتوانی یادگیری به‌تدریج از ۶تا۱۱سالگی افزایش می‌یابد که اکثر آن‌ها در محدودهٔ سنی ۱۰تا۱۵ سال قرار دارند. تعداد آن‌ها در ۱۲تا۱۶سالگی به‌طور درخورتوجهی کاهش می‌یابد (۶).

سازمان‌دهی برنامهٔ بدن، تعادل بدن و ایجاد برتری جانبی از جنبه‌های ضروری رشد روانی‌حرکتی[2] است. مهارت‌های حرکتی نقش بسیار مهمی در یادگیری کودکان دارند و زمینه را برای رشد سایر یادگیری‌های مهم مانند مهارت‌های تحصیلی و اجتماعی فراهم می‌کنند. هرگونه اختلال در روند مهارت‌های حرکتی سبب ایجاد مشکل در یادگیری و کسب مهارت‌های فردی کودک می‌شود (۷).

باتوجه به اهمیت مهارت‌های حرکتی در کودکان، محققان مطالعات مختلفی را درزمینهٔ مهارت‌های حرکتی کودکان عادی و کودکان دارای اختلالات خاص انجام دادند و به نتایج ارزشمندی دست یافتند. مهارت‌های حرکتی، به‌صورت مهارت‌های حرکتی درشت و مهارت‌های حرکتی ظریف طبقه‌بندی می‌شود. کرشت و همکاران مهارت‌های حرکتی را این‌گونه تعریف کردند: مهارت‌های حرکتی ظریف شامل حرکات جهت‌دار، مشخص، دقیق و ماهرانه می‌شود که مستلزم استفاده از گروه‌های عضلانی کوچک است. مهارت‌های حرکتی بزرگ توسط عضلات بزرگ بدن انجام می‌گیرد و باعث حرکات عمومی و وضعیت و تعادل بدن می‌شود (به‌نقل از ۸). مهارت‌های حرکتی بزرگ برای هماهنگی و ادغام سایر اندام‌ها مانند برنامهٔ حرکتی، ثبات وضعیت، آگاهی فیزیکی و درک روابط فضایی، یکپارچگی دوطرفهٔ بدن، برتری جانبی و تقاطع نیم‌تنه است. فعالیت‌های حرکتی بزرگ به توانایی حرکت قسمت‌های مختلف بدن اشاره دارد (۹).

براساس پژوهش گرنت و همکاران مشخص شد، سه فرایند کلی یعنی سرعت پردازش و پردازش زمانی و حافظهٔ کلامی می‌تواند به‌طور متفاوتی با خواندن و عملکرد ریاضی مرتبط باشد (۱۰). اونس، بر اهمیت مهارت‌های حرکتی ظریف و توسعهٔ یادگیری و توجه به مهارت‌های حرکتی برای حمایت و کمک به یادگیری و تأثیر این مهارت‌ها در رشد و افزایش توانایی یادگیری فراگیران، تأکید کرد (۱۱).

در مطالعات انجام‌شده بر مهارت‌های حرکتی، کودکان دارای ناتوانی‌های یادگیری به‌طور درخورتوجهی بدتر از کودکان عادی در حرکات ظریف و بزرگ عمل کردند (۱۲،۱۳). چایکس و همکاران دریافتند، نقص حرکتی درحدود ۸۰درصد از کودکان دارای ناتوانی یادگیری دیده می‌شود و تقریباً همهٔ کودکان مبتلا به اختلالات خواندن دچار اختلال در تعادل و کشش و هماهنگی عضلات هستند (۱۴). در پژوهش پیترز و همکاران، مهارت‌های حرکتی و ادراکی کودکان دارای اختلال ریاضی بررسی شد. نتایج نشان داد، کودکان مبتلا به اختلالات ریاضی در تکالیف مربوط به مهارت‌های حرکتی و درک ریاضی به‌طور چشمگیری بدتر از گروه کنترل عمل کردند. تأخیر رشد مهارت‌های اختلالات حرکتی بسیار گسترده‌تر از تأخیر شناختی دیداری‌بصری بود (۱۲).

هماهنگی دوطرفه، توانایی استفادهٔ هم‌زمان از دو طرف بدن است. کودکانی که در این ناحیه ضعیف هستند، در فعالیت‌های حرکتی بزرگ مانند پریدن و گرفتن توپ و ضربه‌زدن موزون بر طبل مشکل دارند؛ زیرا بیشتر این فعالیت‌ها با درگیری دودستی هم‌زمان انجام می‌شود. همهٔ کودکان با تأخیر هماهنگی دوطرفه با احتمال بیشتری، گاهی از یک دست استفاده می‌کنند؛ ازاین‌رو در برخی کارها ظرافت ندارند (۱۵). از ویژگی‌های متمایز یادگیری حرکتی این است که پس از تمرین با یک اندام، عملکرد مشابه در اندام متقارن بدون تمرین بهبود می‌یابد. این انتقال در کارهای مختلف دست مانند ترسیم اشکال، وظایف یادگیری ماز، حرکات متوالی انگشتان، کنترل نیروهای ظریف و غیره دیده می‌شود (۱۶).

در توضیح همکاری نیمکره‌ها در کنترل حرکات دو دست برای انتقال یادگیری، می‌توان به سه مدل مجزا از دسترسی و تخصص و فعالیت متقابل اشاره کرد (۱۷). باتوجه به مدل دسترسی، یک کنترل‌کنندهٔ منحصربه‌فرد برای هر دو دست وجود دارد که در نیمکرهٔ غالب است. در این مدل، زمانی که افراد ابتدا با دست راست ورزش انجام می‌دهند و سپس به‌سمت چپ حرکت می‌کنند، نیمکرهٔ راست ازطریق جسم پینه‌ای به نمایش‌های توالی لازم ذخیره‌شده در نیمکرهٔ چپ دسترسی می‌یابد. این مدل با استفاده از دست چپ شامل نواحی‌ای از نیمکرهٔ غالب (چپ) که با استفاده از دست راست فعال می‌شوند، امکان فعالیت مغز مستقل از دست را فراهم می‌آورد؛ بنابراین، ممکن است برخی از فعالیت‌های مغز در انتقال، در مناطقی که مستقل از دست

[1]. Learning disability

[2]. Psychomotor development

[Downloaded from jdisabilstud.org on 2026-06-15]

استفاده‌شده عمل می‌کنند، هم‌پوشانی داشته باشند (۱۸).
مطالعات تصویربرداری مغز، نقش قشر حرکتی اولیه، ناحیهٔ حرکتی مکمل و دو هستهٔ تالاموس خلفی (مبادلهٔ اطلاعات با مخچه و هسته‌های پایه) را در انتقال یادگیری توالی حرکتی و نقش وابسته به ناحیه نشان داد. سازوکار آن‌ها بر حرکت تکمیلی در انتقال متناوب تأکید داشت (۱۹). جسم پینه‌ای بزرگ‌ترین مسیر عصبی است که دو نیمکرهٔ مغزی پستانداران را به‌هم متصل می‌کند و وظیفهٔ اصلی آن اتصال نواحی حساس دو نیمکره است. در پژوهشی روی افرادی که کورپوس پینه‌ای نداشتند یا کالوستومی انجام دادند، نقش جسم پینه‌ای در انتقال بین‌دنده‌ای مشخص شد. این افراد در کارهای واکنش متوالی، زمانی که نیاز به ادغام بین دو نیمکره است، یادگیری بینایی حرکتی نهفته نداشتند؛ درحالی‌که در کارهای مرتبط با یک نیمکره، موفق بودند (۲۰).
یادگیری آشکار[1] به یادگیری حقایق و خاطرات شخصی و دسترسی آگاهانه به آن‌ها اشاره دارد و دربارهٔ هدف و نحوهٔ انجام تکلیف حرکتی به یادگیرنده توضیحات لازم داده می‌شود. تصویربرداری از مغز انسان و مطالعات آسیب مغزی نشان داد، یادگیری حرکتی آشکار دربرگیرندهٔ لوب تمپورال داخلی، پیشانی، هیپوکامپ و تالاموس است (۲۱). یادگیری پنهان[2] به انواع فرایندهای یادگیری ناخودآگاه اشاره می‌کند. شواهد حاکی‌از آن بود که انواع مختلفی از یادگیری نهفته وجود دارد و هرکدام بخش‌های مختلفی از مغز را در بر می‌گیرد؛ برای مثال، شرطی‌سازی کلاسیک شامل پاسخ‌های حرکتی ازجمله مخچه و شرطی‌سازی پاسخ‌های احساسی مربوط به آمیگدال است. در فرایند یادگیری حرکتی، اگر یادگیرنده یک تکلیف حرکتی را بدون اینکه بداند چه چیزی را باید بیاموزد کامل کند، یادگیری پنهان روی می‌دهد (۲۲). نواحی زیر قشری شامل مخچه و عقده‌های قاعده‌ای است (۲۳،۲۴). یادگیری پنهان وابسته به هوش نیست؛ اما یادگیری آشکار وابسته به هوش است. اگر یادگیری آشکار در فرایند یک کار پنهان رخ دهد، ضریب هوشی کم، می‌تواند بیانگر ناتوانی یادگیری پنهان باشد (۲۵). یادگیری حرکتی پنهان عمدتاً در ناحیهٔ حرکتی اولیه پردازش می‌شود که نقش مهمی در انتقال یادگیری توالی حرکتی دارد (۲۶).
در اکثر مطالعات حیوانی و انسانی، یادگیری مهارت‌های حرکتی با کاهش زمان واکنش، کاهش تعداد خطاها و تغییر الگوی حرکت بررسی شده است (۲۱). از ابزارهای بسیار مهم استفاده‌شده در تحقیقات رفتاری برای مطالعهٔ عملکرد یادگیری، تکلیف زمان عکس‌العمل متوالی[3] است که توسط نیسن و بولمر پیشنهاد شد. در این کار، محرک هدف در چندین مکان فضایی و مشارکت ظاهر می‌شود. پاسخ‌دهندگان باید در اسرع وقت با فشاردادن کلید مرتبط با محل محرک جواب دهند (۲۷). نیکلسون و فاوست بیان کردند، نابالغی مغز ممکن است منجربه نارساخوانی شود و نیز می‌تواند کسب مهارت‌های زبانی و حرکت و تعادل را مختل کند (۲۸).
تاکنون درمان‌های مختلفی برای کودکان دارای اختلالات یادگیری ارائه شده که هنوز بسیاری از مشکلات آن‌ها برطرف نشده است. روش تحریک الکتریکی مستقیم جمجمه[4] یا tDCS، اخیراً برای تحریک نواحی مختلف مغز با ایجاد جریان‌های مستقیم ملایم در سراسر جمجمه پیشنهاد شده است. این روش بسته به قطبیت محرک، می‌تواند تحریک‌پذیری نواحی تحریک‌شدهٔ مغز را افزایش یا کاهش دهد. مسیر اثر ایجادشده توسط tDCS به قطبیت جریان بستگی دارد: tDCS آندی معمولاً دارای اثری تحریکی بر قشر مغزی موضعی است؛ درحالی‌که tDCS کاتدی تحریک‌پذیری قشر را در ناحیهٔ زیر الکترود کاهش می‌دهد (۲۹).
استفاده از جریان ۱ میلی‌آمپر برای کودکان می‌تواند نتایجی مشابه با جریان ۲ میلی‌آمپر در بزرگسالان داشته باشد؛ بنابراین به‌نظر می‌رسد در کودکان با دور سر کوچک‌تر باید از شدت جریان کمتر استفاده شود. گفته می‌شود جریان ۰/۵تا۲ میلی‌آمپر به‌مدت بیست دقیقه با الکترودهای لاستیکی ۵تا۷ سانتی‌متر پوشیده‌شده با اسفنج برای بزرگسالان سالم و مبتلایان به اختلالات روانی تحمل‌پذیر و بی‌خطر است؛ البته هنوز خطرناک‌بودن جریان ۲ میلی‌آمپر در کودکان ثابت نشده است. جریان ۱ میلی‌آمپر برای کودکان تحمل‌پذیر است؛ اما اطلاعات کمی برای ارائهٔ نتایج کلی دردسترس است (۳۰).
فرگنی و همکاران دریافتند، tDCS آندی ناحیهٔ گیجگاهی خلفی طرفی چپ صدای زنگ گوش را درمقایسه با شرایط تحریک کاتدی و ساختگی کاهش می‌دهد (۳۱). براساس مطالعات، عملکرد دست نیز در بیماران مبتلا به ترومای مزمن سر به‌دنبال tDCS بهبود می‌یابد و همراه با آن برانگیختگی قشر مغز افزایش پیدا می‌کند (۳۲). در پژوهش دیگری، لی و همکاران اثر tDCS را در ناحیهٔ M1 در بیماران مبتلا به درد مرکزی ناشی‌از آسیب نخاعی ارزیابی کردند و به بهبود درخورتوجه بیماران دست یافتند (۳۳).کوارتارون و همکاران گزارش دادند، در طول تصویربرداری حرکتی، اندازه‌گیری MEPs توسط TMS به‌دنبال tDCS کاتدی کاهش می‌یابد؛ درحالی‌که هیچ اثری به‌دنبال تحریک آندی یافت نمی‌شود (۳۴). فرگنی و همکاران بیان کردند، آن‌ها پتانسیل‌های حرکتی برانگیختهٔ دگرجنس‌گرا را به‌دنبال تحریک آندی یا کاتدی قشر M1 چپ آزمایش کردند و دریافتند که پاسخ نیمکرهٔ تحریک‌شده با tDCS آندی افزایش و کاهش می‌یابد (۳۰).
تاکنون درمانی جامع وجود نداشته است که بتواند تمامی مشکلات کودکان اختلالات یادگیری را حل کند؛ همچنین تأثیر tDCS در اختلالات یادگیری کمتر بررسی شده است. روزبه‌روز نیز با پیشرفت علم و سطح آگاهی والدین و معلمان، تشخیص اختلالات یادگیری سرعت بیشتری گرفته است؛ درضمن کودکان اختلال یادگیری از نظر ساختار و پردازش مغزی در مطالعات مختلف دارای ناتوانی‌های حرکتی هستند؛ ازاین‌رو هدف پژوهش حاضر بررسی تأثیر تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای قشر حرکتی اولیه بر سرعت انتقال بین‌دستی یادگیری حرکتی آشکار و پنهان در کودکان دارای اختلال یادگیری بود.

۲ روش‌بررسی

روش پژوهش حاضر نیمه‌آزمایشی با طرح پیش‌آزمون و پس‌آزمون

[1]. Explicit learning
[2]. Implicit learning
[3]. Serial Reaction Time Task
[4]. transcranial Direct Current Stimulation

[Downloaded from jdisabilstud.org on 2026-06-15]

همراه با گروه گواه بود. جامعهٔ آماری پژوهش را کودکان دارای اختلال یادگیری مراجعه‌کننده به کلینیک ناحیهٔ یک آموزش‌وپرورش یزد به‌تعداد ۲۲۰ دانش‌آموز تشکیل دادند. نمونهٔ آماری در این پژوهش، شصت کودک دارای اختلال یادگیری در شهر یزد، در محدودهٔ سنی ۹تا۱۲ سال بودند که برتری طرفی راست غالب در دست داشتند. آزمودنی‌ها در چهار گروه پانزده‌نفره به‌شکل تصادفی تقسیم شدند. سی کودک در دو گروه پانزده‌نفرهٔ مداخلهٔ یادگیری آشکار و گواه یادگیری آشکار و سی کودک در دو گروه پانزده‌نفرهٔ مداخلهٔ یادگیری پنهان و گواه یادگیری پنهان، به‌صورت تصادفی قرار گرفتند. معیارهای ورود آزمودنی‌ها به پژوهش عبارت بود از: داشتن محدودهٔ سنی ۹تا۱۲ سال؛ تشخیص اختلال یادگیری (براساس پروندهٔ روان‌پزشکی موجود در مراکز مشاوره و توان‌بخشی کودکان)؛ وجودنداشتن اختلال همراه با اختلال یادگیری؛ راست‌برتری (براساس پرسش‌نامهٔ دست‌برتری ادینبورگ[1])؛ داشتن هوش طبیعی (براساس آزمون هوش وکسلر[2])؛ مصرف‌نکردن داروی روان‌پزشکی؛ نداشتن نقایص بینایی و شنوایی و سابقهٔ تشنج؛ تکمیل فرم رضایت‌نامه توسط والدین. معیارهای خروج آزمودنی‌ها از پژوهش، مشاهدهٔ تشنج در حین جلسات تحریک و حضورنداشتن منظم در جلسات تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای در نظر گرفته شد.

ابزارهای استفاده‌شده در پژوهش شامل فرم رضایت‌نامهٔ والدین، پرسش‌نامهٔ دست‌برتری ادینبورگ (۳۵) برای تشخیص برتری طرفی کودکان، دستگاه tDCS برند ActivaDose کمپانی ActivaTek آمریکا و تکلیف زمان عکس‌العمل متوالی (۲۷) بود.

پس از اخذ کد اخلاق با مراجعه به مراکز توان‌بخشی و مشاورهٔ کودکان دارای اختلال شهر یزد، کودکان دارای اختلال یادگیری با استفاده از اطلاعات مربیان و نیز پروندهٔ این کودکان شناسایی شدند. پس از بررسی معیارهای ورود و خروج و موافقت خانواده‌های دانش‌آموزان، انتخاب شصت کودک دارای اختلال یادگیری به‌طور دردسترس صورت گرفت و به گروه‌های پانزده‌نفرهٔ زیر تقسیم شدند: ۱. مداخلهٔ یادگیری آشکار؛ ۲. گواه یادگیری آشکار؛ ۳. مداخلهٔ یادگیری پنهان؛ ۴. گواه یادگیری پنهان. برای انجام آزمون از کامپیوتر شخصی استفاده شد که نرم‌افزار مربوط به تکلیف زمان عکس‌العمل متوالی روی آن نصب بود. شرکت‌کننده‌ها روی صندلی پشتی‌دار درمقابل کامپیوتر نشستند و تکلیف زمان عکس‌العمل متوالی را با انگشت اشارهٔ دست راست و دست چپ انجام دادند. نرم‌افزار استفاده‌شده در تمامی گروه‌ها کاملاً یکسان بود؛ اما مرحلهٔ آزمایش باتوجه به نوع یادگیری آشکار و پنهان تفاوت داشت. در گروه یادگیری آشکار، الگوی تکرار مربع‌ها و ترتیب موجود در توالی‌ها و بلوک‌ها از قبل به آزمودنی اطلاع داده شد؛ به این شکل که در بلوک اول، ترتیب ظهور رنگ‌ها به‌صورت نقاشی‌شده در کنار آن‌ها قرار گرفت و سپس برداشته شد. به کودک گفته شد هر مربع که ظاهر شد، دکمهٔ هم‌رنگ آن را فشار بده و سعی کن این کار را با سرعت و دقت هرچه بیشتر انجام دهی. این نقاشی به‌ترتیب نشان داد که چه رنگ‌هایی ظاهر می‌شود. به گروه یادگیری پنهان هیچ اطلاعاتی درزمینهٔ ترتیب محرک ارائه نشد و فقط به کودک گفته شد که به‌محض مشاهدهٔ هر مربع کلید مربوط به آن را فشار دهد. در حین انجام تکلیف، بعد از هر بلوک، چند دقیقه استراحت داده شد. مدت زمان استراحت به انتخاب خود کودک از ۱ تا۱۵ دقیقه بود.

ـپرسش‌نامهٔ دست‌برتری ادینبورگ: این پرسش‌نامه توسط اولدفیلد در سال ۱۹۷۱ ساخته شد (۳۵). این پرسش‌نامه شامل ده سؤال بود که با پرسیدن از فرد یا مراقبان از کدام دست (راست، چپ یا هر دو) در حین انجام ده کار، جهت را مشخص کرد. نمرات مثبت نشان‌دهندهٔ برتری سمت راست، صفر نشان‌دهندهٔ برتری جانبی و نمرات منفی نشان‌دهندهٔ برتری سمت چپ است (امتیازات از ۱۰۰+ تا ۱۰۰ـ متغیر است) (۳۵). اعتبار و روایی پرسش‌نامه در پژوهش بریتو و همکاران در سال ۱۹۸۹ به‌تأیید رسید و دامنهٔ همبستگی پرسش‌نامه ۰/۷۸ تا۰/۸۸ بود و ضریب آلفای کرونباخ آن ۰/۹۶ تعیین شد (۳۶). روایی و پایایی این پرسش‌نامه در ایران توسط علی‌پور و آگاه هریس بررسی و تأیید شد. سازگاری درونی پرسش‌نامه با همبستگی همهٔ مواد پرسش‌نامه با نمرهٔ کامل اندازه‌گیری شد و دامنهٔ همبستگی آن‌ها بین ۰/۸۳ تا۰/۹۸ بود. ضریب آلفای کرونباخ پرسش‌نامه ۰/۹۷ و دامنهٔ همبستگی آن ۰/۹۶ به‌دست آمد (۳۷). امتیازات برتر دست در تداوم از ۱۰۰+ تا ۱۰۰ـ بیان می‌شود که افراد چپ‌دست دارای امتیازات در محدودهٔ ۴۰ـ تا ۱۰۰ـ هستند. افراد دارای برتری جانبی در محدودهٔ ۴۰+ تا ۴۰ـ و افراد راست‌دست در محدودهٔ ۴۰+ تا ۱۰۰+ امتیاز می‌گیرند (۳۷).

ـتکلیف زمان عکس‌العمل متوالی: برای اندازه‌گیری زمان واکنش متوالی در این پژوهش، نرم‌افزار زمان واکنش متوالی به‌کار رفت. این تکلیف توسط نیستن و بولمر در سال ۱۹۸۷ ساخته شد (۲۷). این آزمون دارای پاسخ شناختی و حرکتی است که آزمودنی دربرابر محرک شناختی پاسخ حرکتی می‌دهد. ضریب آلفای کرونباخ آزمون ۰/۸۳ بود (۲۷). این نرم‌افزار توسط مرکز تحقیقات علوم اعصاب رفتاری دانشگاه شهید بهشتی ساخته شد. دربارهٔ اعتبار و پایایی ابزار می‌توان گفت، این آزمون مستقل از فرهنگ است؛ ازطرفی خطاها به‌وسیلهٔ کامپیوتر ثبت می‌شود و خطای انسانی در آن نقشی ندارد و روایی و پایایی آن تأیید شده است. این نوع تکلیف حرکتی دو جزء حرکتی و شناختی دارد و لازم است آزمودنی به یک محرک شناختی مانند محرک دیداری یا شنیداری پاسخ دهد (۲۱). در نرم‌افزار مربوط، محرک‌ها به‌صورت مربع‌های رنگی (زرد، سبز، آبی، قرمز) روی صفحهٔ کامپیوتر ظاهر می‌شوند و فرد باید با فشاردادن دکمهٔ همان رنگ، با انگشت اشاره (غالب یا غیرغالب) به محرک‌ها پاسخ دهد. هر مرحله (بلوک) در این آزمایش از ده توالی تشکیل شده است. هر توالی شامل هفت محرک (مربع‌های رنگی) است. در فرایند تحقیق، ۲۸ بلوک به افراد ارائه شد که توالی مشخص موجود در چهارده بلوک اول (S1) با توالی مشخص موجود در چهارده بلوک بعدی (S2) تفاوت داشت. همهٔ بلوک‌ها به‌جز بلوک‌های دوم، چهارم، دهم و چهاردهم از یک‌سری دنباله‌های خاص پیروی کردند. دنباله و الگوی مشخص مربع‌های ظاهرشده در چهارده بلوک اول (S1) زرد، سبز، زرد، آبی، زرد، قرمز و آبی بود و دنبالهٔ مشخص‌شده در چهارده بلوک بعدی (S2) قرمز،

[1]. Edinburgh Handedness Inventory

[2]. Wechsler Intelligence Scale

[Downloaded from jdisabilstud.org on 2026-06-15]

زرد، سبز، آبی، زرد، قرمز و آبی بود. محرک‌ها (مربع‌های رنگی) به‌طور تصادفی در بلوک‌های دوم، چهارم، دهم و چهاردهم هر سری ظاهر شدند. در بلوک‌ها با توالی S1، بلوک‌های اول، دوم، سیزدهم و چهاردهم به‌منظور ارزیابی انتقال بین‌دستی یادگیری با دست چپ و ده بلوک میانی این سری با دست راست و در بلوک‌ها با توالی S2، بلوک‌های اول، دوم، سیزدهم و چهاردهم با دست راست و ده بلوک میانی این سری با دست چپ انجام شد. زمان تقریبی آزمون در روز اول شصت دقیقه بود. این آزمون محدودیت سنی ندارد و در مطالعات مختلف در گروه‌های سنی مختلف ازجمله سالمندان و جوانان و کودکان استفاده می‌شود.

براساس تحقیقات پیشین، اختلاف بین بلوک‌های ۱ و ۱۳ در توالی S1 به‌عنوان انتقال بین‌دستی چپ در نظر گرفته شد (۲۴). این امر برای بررسی انتقال بین دستی در توالی S1 بلوک‌های اول، دوم، سیزدهم و چهاردهم با دست چپ و ده بلوک میانی با دست راست انجام گرفت. در توالی S2 برعکس بلوک‌های اول، دوم، سیزدهم و چهاردهم با دست راست و بقیهٔ بلوک‌ها با دست راست اجرا شد. ازآنجاکه بلوک‌های دوم، چهارم، دهم و چهاردهم تصادفی بودند، برای اینکه این اثر حذف شود، صرفاً بلوک‌های اول و سیزدهم در اینجا بررسی شد.

زمان هر مرحله آزمون (برحسب هزار میلی‌ثانیه) و تعداد پاسخ‌های نادرست به محرک‌های هدف به‌طور جداگانه با دست چپ و دست راست توسط نرم‌افزار اندازه‌گیری شد. زمان پاسخ، معیاری برای سرعت یادگیری و تعداد پاسخ‌های صحیح، معیار دقت یادگیری با مقایسهٔ پاسخ حرکتی بود. در فاز تصادفی و منظم، تأثیر یادگیری توالی حرکتی بررسی شد (۲۵).

ـ دستگاه تحریک الکتریکی مستقیم از روی جمجمه (tDCS): دستگاه استفاده‌شده دستگاه iOMED ساخت آمریکا (۲۰۱۱) دارای دو الکترود آند و کاتد بود. دستگاه تحریک الکتریکی مستقیم از روی جمجمه ازطریق پدهای آغشته به محلول سالین واقع در اطراف الکترودهای آند و کاتد، روی سر کودکان قرار گرفت. دامنهٔ ولتاژ دستگاه صفر تا ۴ آمپر است که در این مطالعه جریان ۱/۵ میلی‌آمپری به‌کار رفت.

ـ برنامهٔ مداخله: درمان تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای (tDCS)، غیرتهاجمی و دارای ایمنی کامل است و در مطالعات مشابه از جریان ۰/۵ تا۲ میلی‌آمپری برای کودکان استفاده شد (۳۸). کودکان گروه مداخله در ده جلسه درمان تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای ۱/۵ میلی‌آمپری را به‌مدت بیست دقیقه در ناحیهٔ قشر حرکتی اولیه دریافت کردند؛ درحالی‌که برای گروه گواه جلسات مداخلهٔ ساختگی ارائه شد؛ به‌صورتی‌که الکترودها روی سر قرار گرفتند و جریان به‌مدت بیست ثانیه در شروع مدت‌زمان تحریک ایجاد شد؛ بنابراین به کودکان احساس اولیه‌ای از جریان ۱/۵ میلی‌آمپری داده شد؛ اما پس از آن، تحریکی در زمان باقی‌مانده صورت نگرفت. شرکت‌کننده‌ها در روند مطالعه به‌طور تصادفی در گروه مداخله یا گروه گواه قرار گرفتند و خود افراد دربارهٔ پروتکل درمانی آگاهی نداشتند. بعد از مداخله، مجدد هر دو گروه با تکلیف زمان عکس‌العمل متوالی ارزیابی شدند.

شاخص‌های آمار توصیفی شامل میانگین و انحراف معیار و آمار استنباطی شامل آزمون شاپیرو–ویلک برای اطمینان از نرمال‌بودن توزیع داده‌ها و آزمون تحلیل واریانس آمیخته برای تجزیه‌وتحلیل فرضیه‌های پژوهش و بررسی تأثیرات درون‌گروهی و بین‌گروهی و نیز آزمون تعقیبی بونفرونی و آزمون تی همبسته به‌کار رفت. داده‌های پژوهش حاضر ازطریق نرم‌افزار SPSS نسخهٔ ۱۸ تحلیل شدند. سطح معناداری برای همهٔ آزمون‌ها ۰/۰۵ بود.

۳ یافته‌ها

در این پژوهش شصت کودک مبتلا به اختلال یادگیری راست برتر در محدودهٔ سنی ۹تا۱۲ سال و میانگین سنی ۱۰/۶۷ با انحراف معیار ۱/۳۴ سال انتخاب شدند. در جدول زیر، داده‌های آمار توصیفی مربوط به اندازه‌گیری متغیرها ارائه شده است.

براساس تحقیقات پیشین، اختلاف بین بلوک‌های ۱ و ۱۳ در توالی S1 به‌عنوان انتقال بین‌دستی چپ در نظر گرفته شد (۲۴). این امر برای بررسی انتقال بین‌دستی در توالی S1 بلوک‌های اول، دوم، سیزدهم و چهاردهم با دست چپ و ده بلوک میانی با دست راست انجام پذیرفت و در توالی S2 برعکس بلوک‌های اول، دوم، سیزدهم و چهاردهم با دست راست و بقیهٔ بلوک‌ها با دست راست اجرا شد. ازآنجاکه بلوک‌های دوم، چهارم، دهم و چهاردهم تصادفی بودند، برای اینکه این اثر حذف شود، صرفاً بلوک‌های اول و سیزدهم در اینجا بررسی شد.

جدول ۱. میانگین و انحراف معیار مربوط به متغیرهای اندازه‌گیری‌شده به‌تفکیک گروه‌های پژوهش در پیش‌آزمون و پس‌آزمون

متغیر	مرحله	پیش‌آزمون		پس‌آزمون	
		انحراف معیار±میانگین		انحراف معیار±میانگین	
	گروه	بلوک ۱	بلوک ۱۳	بلوک ۱	بلوک ۱۳
انتقال بین‌دستی دست چپ (توالی S1) (مدت‌زمان کل به ثانیه)	تحریک مغزی–آشکار	۱۲۱/۱۲±۲۶/۹۸	۱۰۹/۹۲±۱۶/۰۵	۹۷/۳۳±۷/۱۵	۸۰/۱۵±۵/۶۳
	تحریک مغزی–پنهان	۱۲۰/۷۰±۲۱/۴۲	۱۱۴/۵۵±۱۳/۹۴	۹۹/۸۶±۵/۸۴	۹۳/۶۶±۵/۱۶
	بدون تحریک مغزی–آشکار	۱۲۴/۱۰±۲۵/۱۰	۱۱۲/۲۴±۱۵/۸	۹۶/۲۰±۵/۴۵	۸۸/۰۶±۷/۲۵
	بدون تحریک مغزی–پنهان	۱۱۸/۱۳±۲۵/۱۰	۱۱۵/۳۸±۱۴/۴۱	۱۰۵/۳۳±۷/۷۲	۹۶/۶۶±۵/۵۲
انتقال بین‌دستی دست راست (توالی S2) (مدت‌زمان کل به ثانیه)	تحریک مغزی–آشکار	۹۸/۳۶±۷/۱۲	۹۶/۹۵±۸/۴۱	۸۷/۴۰±۸/۷۴	۷۷/۲۹±۱۰/۷۳
	تحریک مغزی–پنهان	۱۰۱/۱۵±۶/۳۶	۹۷/۶۱±۷/۹۰	۸۶/۲۶±۵/۷۲	۸۱/۴۰±۷/۷۰
	بدون تحریک مغزی–آشکار	۹۹/۳۶±۷/۱۲	۹۷/۲۷±۸/۰	۹۱/۴۰±۷/۷۰	۸۱/۰۶±۸/۳۶
	بدون تحریک مغزی–پنهان	۹۹/۹۹±۵/۴۸	۹۶/۲۸±۸/۲۹	۸۸/۰±۵/۱۱	۸۹/۲۶±۵/۸۶

[Downloaded from jdisabilstud.org on 2026-06-15]

همان‌طورکه در جدول ۱ مشاهده می‌شود، میانگین سرعت انتقال بین‌دستی دست چپ در گروه مداخله در شرایط یادگیری آشکار در پیش‌آزمون در بلوک‌های ۱ و ۱۳ به‌ترتیب ۱۲۱/۱۲ و ۱۰۹/۹۲ و در پس‌آزمون به‌ترتیب ۹۷/۳۳ و ۸۰/۱۵ بود. میانگین سرعت انتقال بین‌دستی دست چپ در گروه مداخله در شرایط یادگیری پنهان در پیش‌آزمون در بلوک‌های ۱ و ۱۳ به‌ترتیب ۱۲۰/۷۰ و ۱۱۴/۵۵ و در پس‌آزمون به‌ترتیب ۹۹/۸۶ و ۹۳/۶۶ بود. همچنین میانگین سرعت انتقال بین‌دستی دست چپ در گروه گواه در شرایط یادگیری آشکار در پیش‌آزمون در بلوک‌های ۱ و ۱۳ به‌ترتیب ۱۲۴/۱۰ و ۱۱۲/۲۴ و در پس‌آزمون به‌ترتیب ۹۶/۲۰ و ۸۸/۰۶ بود. میانگین سرعت انتقال بین‌دستی دست چپ در گروه گواه در شرایط یادگیری پنهان در پیش‌آزمون در بلوک‌های ۱ و ۱۳ به‌ترتیب ۱۱۸/۱۳ و ۱۱۵/۳۸ و در پس‌آزمون به‌ترتیب ۱۰۵/۳۳ و ۹۶/۶۶ بود. میانگین و انحراف معیار سرعت انتقال بین‌دستی دست راست نیز در جدول ۱ آورده شده است. باتوجه به معنادارنبودن نتایج آزمون شاپیرو–ویلک ($p>۰/۰۵$) و آزمون ام‌باکس ($p>۰/۰۵$)، به‌ترتیب پیش‌فرض‌های نرمال‌بودن توزیع داده‌های اندازه‌گیری‌شده و همگنی کوواریانس‌ها برای استفاده از تحلیل واریانس آمیخته (Mixed ANOVA) برقرار بود.

جدول ۲. نتایج آزمون تحلیل واریانس آمیخته برای اثرات اصلی و تعاملی بلوک، تحریک مغزی و نوع یادگیری

شاخص منابع تغییرات		F	مقدار p	اندازهٔ اثر
سرعت انتقال بین‌دستی دست چپ	اثر بلوک	۳۴/۴۶	<۰/۰۰۱	۰/۳۸
	اثر تحریک مغزی	۲/۶۰	۰/۱۱۰	۰/۰۴
	اثر نوع یادگیری	۱۲/۸۱	<۰/۰۰۱	۰/۱۸
	اثر تعاملی بلوک و تحریک مغزی	۰/۹۲	۰/۳۴۱	۰/۰۱
	اثر تعاملی بلوک و نوع یادگیری	۲/۳۲	۰/۱۳۳	۰/۰۴
	اثر تعامل تحریک مغزی و نوع یادگیری	۰/۰۳	۰/۸۵۰	۰/۰۰۱
	اثر تعامل بلوک و تحریک مغزی و نوع یادگیری	۲/۸۲	۰/۰۹۱	۰/۰۴
سرعت انتقال بین‌دستی دست راست	اثر بلوک	۳۱/۸۴	<۰/۰۰۱	۰/۳۶
	اثر تحریک مغزی	۷/۳۸	<۰/۰۰۱	۰/۱۱
	اثر نوع یادگیری	۱/۴۷	۰/۲۲۱	۰/۰۲
	اثر تعاملی بلوک و تحریک مغزی	۱/۹۲	۰/۱۷۲	۰/۰۳
	اثر تعاملی بلوک و نوع یادگیری	۱۵/۶۲	<۰/۰۰۱	۰/۲۱
	اثر تعامل تحریک مغزی و نوع یادگیری	۰/۰۸	۰/۷۷۳	۰/۰۰۱
	اثر تعامل بلوک و تحریک مغزی و نوع یادگیری	۲/۲۳	۰/۱۴۲	۰/۰۳

نتایج آزمون تحلیل واریانس آمیختهٔ دوراهه (منظور از دوراهه عامل‌های بین‌گروهی یعنی نوع یادگیری و تحریک الکتریکی) با شرط کرویت‌موخلی ($p>۰/۰۵$) برای سرعت انتقال بین‌دستی دست چپ کودکان دارای اختلال یادگیری نشان داد، اثر اصلی بلوک و اثر اصلی نوع یادگیری معنادار بود ($p<۰/۰۰۱$)؛ ولی سایر اثرات معنادار نبود ($p>۰/۰۵$) (جدول ۲). در ادامه نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی (جدول ۳) برای اثر اصلی بلوک مشخص کرد، افراد در بلوک ۱۳ درمقایسه با بلوک ۱ دارای سرعت انتقال بین‌دستی دست چپ بیشتری (مدت‌زمان کمتر) بودند ($p<۰/۰۰۱$). همچنین نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی برای اثر اصلی نوع یادگیری مشخص کرد، افراد با آموزش آشکار درمقایسه با آموزش پنهان دارای سرعت انتقال بین‌دستی دست چپ بیشتری بودند ($p<۰/۰۰۱$).

جدول ۳. نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی برای مقایسهٔ سرعت انتقال بین‌دستی دست چپ برای اثرات بلوک و نوع یادگیری

گروه‌ها		اختلاف میانگین‌ها	مقدار p
گروه (i)	گروه (j)	(i-j)	
آموزش آشکار	آموزش پنهان	۸/۴۴–	<۰/۰۰۱
مرحله		اختلاف میانگین‌ها	مقدار p
بلوک (i)	بلوک (j)	(i-j)	
بلوک ۱	بلوک ۱۳	۱۰/۰۴	<۰/۰۰۱

نتایج آزمون تحلیل واریانس آمیختهٔ دوراهه با شرط کرویت‌موخلی ($p>۰/۰۵$) برای سرعت انتقال بین‌دستی دست راست کودکان دارای اختلال یادگیری نشان داد، اثرات اصلی بلوک و تحریک مغزی و اثر تعاملی بلوک و نوع یادگیری معنادار بود ($p<۰/۰۰۱$)؛ ولی سایر اثرات معنادار نبود ($p>۰/۰۵$) (جدول ۲).

در ادامه باتوجه به معنادارشدن اثر تعاملی بلوک و نوع یادگیری، از آزمون تحلیل واریانس یک‌راهه برای تفاوت‌های بین‌گروهی در هریک از بلوک‌های تمرینی (۱ و ۱۳) و آزمون تی همبسته برای تغییرات

[Downloaded from jdisabilstud.org on 2026-06-15]

هریک از گروه‌ها از بلوک ۱ تا۱۳ استفاده شد.

جدول ۴. نتایج آزمون تحلیل واریانس یک‌راهه برای مقایسهٔ سرعت یادگیری انتقال بین‌دستی دست راست گروه‌های پژوهش در بلوک‌های ۱ و ۱۳

مرحلهٔ اندازه‌گیری	F	مقدار p
بلوک ۱	۱/۵۰	۰/۲۲۱
بلوک ۱۳	۶/۱۲	<۰/۰۰۱

نتایج آزمون تحلیل واریانس یک‌راهه نشان داد، بین سرعت یادگیری انتقال بین‌دستی دست راست گروه‌های پژوهش در بلوک ۱ تفاوت معناداری وجود نداشت (p=۰/۲۲۱)؛ ولی در بلوک ۱۳ تفاوت معنادار بود (p<۰/۰۰۱) (جدول ۴).

جدول ۵. نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی برای مقایسهٔ سرعت یادگیری انتقال بین‌دستی دست راست جفت‌گروه‌ها در بلوک ۱۳

گروه‌ها		اختلاف میانگین‌ها (i-j)	مقدار p
گروه (i)	گروه (j)		
تحریک مغزی_ آشکار	تحریک مغزی_ پنهان	ـ۴/۱۰	۰/۹۵۱
	بدون تحریک مغزی_ آشکار	ـ۳/۷۷	۰/۹۹۱
	بدون تحریک مغزی_ پنهان	ـ۱۱/۹۷	<۰/۰۰۱
تحریک مغزی_ پنهان	بدون تحریک مغزی_ آشکار	۰/۳۳	۰/۹۹۳
	بدون تحریک مغزی_ پنهان	ـ۷/۸۶	۰/۰۵۱
بدون تحریک مغزی_ آشکار	بدون تحریک مغزی_ پنهان	ـ۸/۲۰	۰/۰۳۴

نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی برای مقایسهٔ دوبه‌دوی گروه‌های پژوهش در بلوک ۱۳ نشان داد، گروه تحریک مغزی_ آشکار درمقایسه با گروه بدون تحریک مغزی_ پنهان (p<۰/۰۰۱) و گروه بدون تحریک مغزی_ آشکار درمقایسه با بدون تحریک مغزی_ پنهان (p=۰/۰۳۴) به‌طور معناداری سرعت یادگیری انتقال بین‌دستی دست راست بیشتری داشتند؛ ولی تفاوت‌های بین جفت‌گروه‌های دیگر معنادار نبود (p>۰/۰۵) (جدول ۵).

جدول ۶. نتایج آزمون تی همبسته برای مقایسهٔ تغییرات سرعت یادگیری انتقال بین‌دستی دست راست هریک از گروه‌ها از بلوک ۱ تا بلوک ۱۳

گروه	T	مقدار p
تحریک مغزی_ آشکار	۴/۵۴	<۰/۰۰۱
تحریک مغزی_ پنهان	۲/۲۳	۰/۰۴۳
بدون تحریک مغزی_ آشکار	۳/۸۰	<۰/۰۰۱
بدون تحریک مغزی_ پنهان	ـ۱/۲۰	۰/۲۴۱

نتایج آزمون تی همبسته مشخص کرد، گروه‌های تحریک مغزی_ آشکار (p<۰/۰۰۱)، تحریک مغزی_ پنهان (p=۰/۰۴۳) و بدون تحریک مغزی_ آشکار (p<۰/۰۰۱) افزایش معناداری را در سرعت یادگیری انتقال بین‌دستی دست راست از بلوک ۱ تا بلوک ۱۳ نشان دادند؛ ولی گروه بدون تحریک مغزی_ پنهان تغییرات معناداری نداشت (p=۰/۲۴۱) (جدول ۶).

۴ بحث

هدف این پژوهش، بررسی تأثیر تحریک جریان مستقیم الکتریکی فراجمجمه‌ای در قشر حرکتی اولیه بر سرعت انتقال بین‌دستی کودکان دارای اختلال یادگیری در شرایط یادگیری آشکار و پنهان بود. نتایج پژوهش حاضر مشخص کرد، تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای در قشر حرکتی اولیه بر سرعت انتقال بین‌دستی کودکان دارای اختلال یادگیری در شرایط یادگیری آشکار و پنهان تأثیر معناداری داشت. اونس در تحقیق خود بر اهمیت مهارت‌های حرکتی ظریف تأکید کرد. او دریافت، مهارت‌های حرکتی در کودکان دارای اختلال یادگیری درمقایسه با کودکان سالم ضعیف‌تر است و بهبود مهارت‌های حرکتی، مشکلات این کودکان را کاهش می‌دهد (۱۱). در بررسی‌های انتقال بین‌دستی یادگیری مشخص شد، افراد می‌توانند مهارت‌های حرکتی اکتسابی را از یک دست به دست دیگر منتقل کنند (۳۹).

لی و همکاران اثر tDCS ۲میلی‌آمپری کاتدی را در ناحیهٔ M1 در بیماران مبتلا به درد مرکزی ناشی‌از آسیب نخاعی ارزیابی کردند و به بهبود درخورتوجهی دست یافتند؛ این امر به‌دلیل سازوکار مهاری تحریک کاتدی فراجمجمه‌ای مغز بود (۳۳). در پژوهش حاضر نیز مشخص شد، تحریک کاتدی در نیمکرهٔ غیرغالب مغز می‌تواند منجربه تغیرات مثبت در عملکرد حرکتی کودکان دارای اختلال یادگیری شود.

[Downloaded from jdisabilstud.org on 2026-06-15]

مطالعه‌ای با استفاده از تحریک مغناطیس مغز (TMS) بهبود در حرکت را نشان داد. عملکرد دست طرف مقابل، ناشی‌از ورزش یک‌طرفه، با تحریک‌پذیری قشر حرکتی طرف مقابل همراه است (۲۲). علاوه‌براین، پژوهشی با استفاده از تصویربرداری رزونانس مغناطیسی مشخص کرد، حرکت یک‌طرفه نه‌تنها فعالیت قشر حرکتی همان طرف را افزایش می‌دهد، بلکه قشر حسی‌حرکتی همان طرف، نواحی پیش‌حرکتی و مخچهٔ طرف مقابل نیز فعال می‌شوند (۴۰،۴۱)؛ بنابراین، سازوکار انتقال بین‌دستی ممکن است شامل تغییرات تکمیلی در تحریک‌پذیری نیمکره‌های چپ و راست باشد. در تحقیقات پیشین درزمینهٔ عوامل مؤثر بر اثرات تحریک‌پذیری قشر حرکتی در انتقال مهارت‌های حرکتی ازطرف آموزش‌دیده به‌سمت آموزش‌ندیده مشخص شد، عملکرد حرکتی در سمت آموزش‌ندیده قبل و بعد تمرینات انجام‌شده با استفاده از سمت آموزش‌دیده تغییر می‌کند (۱۷،۴۲).

امروزه استفاده از تحریک الکتریکی مستقیم مغز در پژوهش‌های بالینی از تحقیقات نوروساینس پایه تا درمان اختلالات مختلف و نورولوژیک و روان‌پزشکی افزایش یافته است و همهٔ این تحقیقات تأثیرات مثبت روش درمانی مذکور را در درمان اختلالات روان‌پزشکی نشان داده‌اند. در تحقیقات تحریک الکتریکی مستقیم مغز پیشنهاد شد، انجام بیشتر این درمان و تکرارپذیری آن می‌تواند میزان اثربخشی را بهبود بخشد (۴۳).

در دهه‌های گذشته، علاقهٔ تحقیقاتی فزاینده‌ای به استفاده از تکنیک‌های تحریک غیرتهاجمی مغز، ازجمله تحریک الکتریکی مستقیم مغز برای تعدیل انعطاف‌پذیری قشر مغز و افزایش عملکرد مغز انسان وجود داشته است (۴۴). تحریک الکتریکی مستقیم مغز شامل انتقال جریان الکتریکی ضعیف به‌کمک الکترودها ازطریق پوست سر است و منجربه مدولاسیون زیرآستانهٔ پتانسیل‌های غشای استراحت می‌شود که وابسته به قطبیت تحریک، تحریک‌پذیری و فعالیت قشر مغز را تغییر می‌دهد؛ دپلاریزاسیون تحریک‌پذیری و فعالیت عصبی خودبه‌خودی را بیشتر می‌کند؛ درحالی‌که هایپرپلاریزاسیون اثرات متضاد دارد. در سطح ماکروسکوپی، با پروتکل‌های تحریک کلاسیک، تحریک الکتریکی مستقیم مغز آندال (تحریک با آند در ناحیهٔ هدف) افزایش می‌یابد؛ اما تحریک الکتریکی مستقیم مغز کاتدی، تحریک‌پذیری جمعیت‌های عصبی آسیب‌دیده را کاهش می‌دهد (۴۵). تحریک برای چند دقیقه، عواقب یکسانی در پی دارد. در اینجا، تحریک الکتریکی مستقیم مغز آندال باعث ایجاد شکل‌پذیری پتانسیل طولانی‌مدت می‌شود؛ درحالی‌که تحریک الکتریکی مستقیم مغز کاتدی، انعطاف‌پذیری طولانی‌مدت مهاری‌مانند را ایجاد می‌کند (۴۴). مطالعات فارماکولوژیک و تصویربرداری عصبی نشان داد، پلاستیسیتهٔ ناشی‌از تحریک الکتریکی مستقیم مغز به سازوکارهای گلوتاماترژیک، شامل گیرنده‌های ان‌ام‌دی‌ای[1] و وابسته به کلسیم بستگی دارد (۴۶). کاهش هم‌زمان فعالیت گابا ممکن است به‌عنوان سازوکاری دروازه‌ای عمل کند. فراتر از اثرات منطقه‌ای، تحریک الکتریکی مستقیم مغز فعالیت شبکهٔ عصبی عملکردی را تغییر می‌دهد؛ همان‌طورکه توسط تکنیک‌های تصویربرداری عصبی عملکردی بررسی شد، که ممکن است با تأثیر تحریک الکتریکی مستقیم مغز بر فرایندهای یادگیری مرتبط باشد (۴۷). پرز و همکاران دریافتند، آموزش و تحریک یک‌طرفهٔ مکرر، عملکرد تحریک‌پذیری قشر حرکتی را برای کنترل عضلات آگونیست افزایش می‌دهد. نویسندگان پیشنهاد کردند، این افزایش تحریک‌پذیری در طرف مقابل قشر نیز انعکاس می‌یابد و باعث بهبود عملکرد اندام‌های طرف مقابل می‌شود (۴۸). فرگنی و همکاران و کوارتارون و همکاران نشان دادند، تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای ازطریق تغییراتی که در نوروپلاستیسیتی نورون‌ها ایجاد می‌کند، باعث بهبود عملکرد قشر اولیهٔ حرکتی می‌شود که در پژوهش حاضر نیز این بهبود مشاهده شد (۳۰،۳۴).

مقایسهٔ میانگین زمان عکس‌العمل مشخص کرد، تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای در قشر حرکتی اولیه بر سرعت انتقال بین‌دستی کودکان دارای اختلال یادگیری در شرایط یادگیری آشکار و پنهان تأثیر داشت. قشر اولیهٔ حرکتی دارای نقش محوری در فرامین حرکتی است. قشر حرکتی اولیه در ناحیهٔ چهار برودمن در خلفی‌ترین قسمت لوب فرونتال قرار دارد. قشر حرکتی اولیه مربوط به مرحلهٔ خروجی سیگنال‌های حرکتی است که دستورات حرکتی را به ساقهٔ مغز و نخاع می‌فرستد. تعدیل عملکرد این ناحیه توسط tDCS می‌تواند منجربه عملکرد بهتر حرکتی و افزایش سرعت پیام‌های حرکتی شود (۴۹).

۵ نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد، تأثیر تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای در قشر حرکتی اولیه بر سرعت انتقال بین‌دستی کودکان دارای اختلال یادگیری در شرایط یادگیری آشکار و پنهان مؤثر است. درواقع تحریک قشر حرکتی اولیه توسط تحریک الکتریکی مستقیم مغز منجربه برانگیختگی و نوروپلاستیسیتی بیشتر در قشر حرکتی مغز می‌شود و ازطریق تسهیل سیناپسی ایجادشده می‌تواند عملکرد انتقال بین‌دستی را تسهیل بخشد.

۶ تشکر و قدردانی

از آموزش‌وپرورش شهرستان یزد و تمامی عزیزانی که در انجام پژوهش یاری کردند، سپاسگزاری می‌شود.

۷ بیانیه‌ها

تأییدیهٔ اخلاقی و رضایت‌نامه از شرکت‌کنندگان

از والدین و مسئولان تمامی دانش‌آموزان حاضر در این پژوهش، رضایت‌نامه گرفته شد. همچنین دربارهٔ محرمانه‌ماندن اطلاعات آن‌ها اطمینان خاطر داده شد.

رضایت برای انتشار

این امر غیرقابل اجرا است.

دردسترس‌بودن داده‌ها و مواد

در این پژوهش به والدین اطمینان داده شد که اطلاعات دانش‌آموزان محرمانه است و تحلیل داده‌های آن‌ها به‌صورت گروهی انجام می‌شود. نویسندگان متعهد شدند که امکان دسترسی به داده‌های اولیهٔ پژوهش ازطریق لینک را برای داوران و سردبیر محترم فراهم آورند.

[1]. NMDA

[Downloaded from jdisabilstud.org on 2026-06-15]

تضاد منافع
این مقاله مستخرج از رسالهٔ مقطع دکتری است و نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ‌گونه تضاد منافعی ندارند.
منابع مالی
تأمین تمامی منابع مالی این تحقیق توسط نویسندهٔ اول پژوهش صورت گرفته و پژوهش با هزینه‌های شخصی انجام شده است.
مشارکت نویسندگان
نویسندهٔ اول همهٔ فرایندهای اجرای پژوهش را انجام داد. در طراحی مطالعه نقش داشت، جمع‌آوری داده‌ها و آنالیز و تحلیل داده‌ها را بر عهده داشت و در نگارش نسخهٔ دست‌نوشته همکار اصلی بود. نویسندهٔ دوم ایدهٔ پژوهش را ارائه کرد، در طراحی مطالعه نقش داشت، تفسیر نتایج را انجام داد و در نگارش نسخهٔ دست‌نوشته همکار اصلی بود. نویسندهٔ سوم در طراحی مطالعه نقش داشت، جمع‌آوری داده‌ها و هماهنگی‌های لازم برای ارائهٔ آزمایش‌ها را انجام داد، تفسیر و بررسی صحت داده‌ها و نتایج تحقیق را بر عهده و در آن همکاری داشت، در نگارش نسخهٔ دست‌نوشته همکار اصلی بود. لازم به ذکر است که تمامی شروط مندرج در نشریه برای مشارکت نویسندگان رعایت شد. همچنین همهٔ نویسندگان نسخهٔ دست‌نوشتهٔ نهایی را خواندند و تأیید کردند.

References

1. Catts HW, Gillispie M, Leonard LB, Kail RV, Miller CA. The role of speed of processing, rapid naming, and phonological awareness in reading achievement. J Learn Disabil. 2002;35(6):509–24. https://doi.org/10.1177/00222194020350060301
2. American Psychiatric Publishing. Diagnostic and statistical manual of mental disorders: DSM–5™. 5th ed. Arlington, VA, US: American Psychiatric Publishing, Inc.; 2013. https://doi.org/10.1176/appi.books.9780890425596
3. Behrad B. Prevalence of learning disabilities in Iranian primary students: A meta– analysis. Journal of Exceptional Children. 2006;5(4):417–36. [Persian] http://joec.ir/article-1-420-en.pdf
4. Kirk SA, Chalfant JC. Academic and developmental learning disabilities. Ronaghi S, Khanjani Z, Vosoughi Rahbari M. (Persian translator). Tehran: Publication of Exceptional Education Organization; 1998.
5. Heiman T, Berger O. Parents of children with Asperger syndrome or with learning disabilities: family environment and social support. Res Dev Disabil. 2008;29(4):289–300. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2007.05.005
6. Lerner JW. Learning disabilities: theories, diagnosis, and teaching strategies. 7th ed. Boston: Houghton Mifflin; 1997.
7. Baranek GT. Efficacy of sensory and motor interventions for children with autism. J Autism Dev Disord. 2002;32(5):397–422. https://doi.org/10.1023/a:1020541906063
8. Hasanati F, Khatounabadi SAR, Abd Alvahab M. A comparative study on motor skills in 5–year–old children with phonological and phonetic disorders. Auditory and Vestibular Research. 2010;19(1):71–7. [Persian]
9. Davari–Nia A, Yarmohammadian A, Ghamarani A. The comparative study of gross and fine motor skills and body balance in children with intellectual disability, autism and learning disorder with normal children. Archives of Rehabilitation. 2015;16(1):66–75. [Persian] https://rehabilitationj.uswr.ac.ir/article-1-1521-en.pdf
10. Grant JG, Siegel LS, D'Angiulli A. From schools to scans: a neuroeducational approach to comorbid math and reading disabilities. Front Public Health. 2020;8:469. https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00469
11. Owens A. Supporting children's development: fine motor skills, extract from putting children first [Internet]. National Childcare Accreditation Council. 2008; 28(4): 3–5. Available from: https://allesinbeweging.net/storage/2494/2008-A.-Owens---Supporting-children%27s-development-fine-motor-skills.pdf
12. Pieters S, Desoete A, Roeyers H, Vanderswalmen R, Van Waelvelde H. Behind mathematical learning disabilities: what about visual perception and motor skills? Learning and Individual Differences. 2012;22(4):498–504. https://doi.org/10.1016/j.lindif.2012.03.014
13. Woodward RJ, Surbrug PR. The performance of fundamental movement skills by elementary school children with learning disabilities. The Physical Educator. 2001;58(4):198.
14. Chaix Y, Albaret JM, Brassard C, Cheuret E, de Castelnau P, Benesteau J, et al. Motor impairment in dyslexia: the influence of attention disorders. Eur J Paediatr Neurol. 2007;11(6):368–74. https://doi.org/10.1016/j.ejpn.2007.03.006
15. Scott JL. The effect of a metronome–based coordination training programme on the fundamental gross motor skills of children with motor development delays [Thesis for Master degree in Exercise, Sport and Lifestyle Medicine]. [Stellenbosch, South Africa] : University of Stellenbosch; 2010.
16. Kirsch W, Hoffmann J. Asymmetrical intermanual transfer of learning in a sensorimotor task. Exp Brain Res. 2010;202(4):927–34. https://doi.org/10.1007/s00221-010-2184-8
17. Anguera JA, Russell CA, Noll DC, Seidler RD. Neural correlates associated with intermanual transfer of sensorimotor adaptation. Brain Res. 2007;1185:136–51. https://doi.org/10.1016/j.brainres.2007.09.088
18. Taylor HG, Heilman KM. Left–hemisphere motor dominance in righthanders. Cortex. 1980;16(4):587–603. https://doi.org/10.1016/s0010-9452(80)80006-2

[Downloaded from jdisabilstud.org on 2026-06-15]

19. Perez MA, Tanaka S, Wise SP, Sadato N, Tanabe HC, Willingham DT, et al. Neural substrates of intermanual transfer of a newly acquired motor skill. Curr Biol. 2007;17(21):1896–902. https://doi.org/10.1016/j.cub.2007.09.058
20. de Guise E, del Pesce M, Foschi N, Quattrini A, Papo I, Lassonde M. Callosal and cortical contribution to procedural learning. Brain. 1999;122 (Pt 6):1049–62. https://doi.org/10.1093/brain/122.6.1049
21. Nejati V, Ashayeri H, Garousi Farshi MT, Aghdasi MT. The role of explicit knowledge of sequence in motor sequence learning. Research on Sport Science. 2007;5(15):161–71. [Persian]
22. Reber AS, Walkenfeld FF, Hernstadt R. Implicit and explicit learning: individual differences and IQ. J Exp Psychol Learn Mem Cogn. 1991;17(5):888–96. https://doi.org/10.1037//0278-7393.17.5.888
23. Mirzakhany–Araghi N, Yasaei R, Khoshalipanah M, Nejati V, Pashazadeh–Azari Z, Tabatabaee SM. Motor learning in children with ADHD and normal children: comparison of implicit and explicit motor sequence. Journal of Clinical Physiotherapy Research. 2017;2(1):26–31. https://doi.org/10.22037/jcpr.v2i1.9220
24. Izadi Najafabadi, Nejati V, Mirzakhany Araghi N, Pashazadeh Azari Z. Intermanual transfer of motor learning in children with autism spectrum disorder. Internal Medicine Today. 2013;19(2):97–103. [Persian] http://imtj.gmu.ac.ir/article-1-1714-en.pdf
25. Perez MA, Wise SP, Willingham DT, Cohen LG. Neurophysiological mechanisms involved in transfer of procedural knowledge. J Neurosci. 2007;27(5):1045–53. https://doi.org/10.1523/jneurosci.4128-06.2007
26. Curran T, Keele SW. Attentional and nonattentional forms of sequence learning. Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition. 1993;19(1):189–202. http://dx.doi.org/10.1037/0278-7393.19.1.189
27. Nissen MJ, Bullemer P. Attentional requirements of learning: evidence from performance measures. Cognitive Psychology. 1987;19(1):1-32. https://doi.org/10.1016/0010-0285(87)90002-8
28. Nicholson RI, Fawcett AJ. Dyslexia, learning, and the brain. Cambridge, MA: MIT Press; 2008.
29. Kessler SK, Minhas P, Woods AJ, Rosen A, Gorman C, Bikson M. Dosage considerations for transcranial direct current stimulation in children: a computational modeling study. PLoS One. 2013;8(9):e76112. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0076112
30. Fregni F, Marcondes R, Boggio PS, Marcolin MA, Rigonatti SP, Sanchez TG, et al. Transient tinnitus suppression induced by repetitive transcranial magnetic stimulation and transcranial direct current stimulation. Eur J Neurol. 2006;13(9):996–1001. https://doi.org/10.1111/j.1468-1331.2006.01414.x
31. Fregni F, Boggio PS, Santos MC, Lima M, Vieira AL, Rigonatti SP, et al. Noninvasive cortical stimulation with transcranial direct current stimulation in Parkinson's disease. Mov Disord. 2006;21(10):1693–702. https://doi.org/10.1002/mds.21012
32. Fregni F, Potvin K, Dasilva D, Wang X, Lenkinski RE, Freedman SD, et al. Clinical effects and brain metabolic correlates in noninvasive cortical neuromodulation for visceral pain. Eur J Pain. 2011;15(1):53–60. https://doi.org/10.1016/j.ejpain.2010.08.002
33. Li S, Stampas A, Frontera J, Davis M, Li S. Combined transcranial direct current stimulation and breathing-controlled electrical stimulation for management of neuropathic pain after spinal cord injury. J Rehabil Med. 2018;50(9):814-20. doi: 10.2340/16501977-2379
34. Quartarone A, Morgante F, Bagnato S, Rizzo V, Sant'Angelo A, Aiello E, et al. Long lasting effects of transcranial direct current stimulation on motor imagery. Neuroreport. 2004;15(8):1287-91. doi: 10.1097/01.wnr.0000127637.22805.7c
35. Oldfield RC. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. Neuropsychologia. 1971;9:97–113. https://doi.org/10.1016/0028-3932(71)90067-4
36. Brito GN, Brito LS, Paumgartten FJ, Lins MF. Lateral preferences in Brazilian adults: an analysis with the Edinburgh Inventory. Cortex. 1989;25(3):403–15. https://doi.org/10.1016/s0010-9452(89)80054-1
37. Alipour A, Agah Harris M. Investigating the reliability and validity of the Edinburgh Handedness Inventory in Iran. Journal of Psychological Sciences. 2007;22:117-33. [Persian] https://jip.stb.iau.ir/article_512423_cdb08934ccfcd74cc4b846e6331ca9ac.pdf
38. Mahmoodifar E, Movahedi A, Arab–Ameri E, Faramarzi S. The effects of transcranial direct current stimulation and selective motor training on fine motor skills in children with autism spectrum disorders. Journal of Research in Rehabilitation Sciences. 2017;13(1):44–50. [Persian] https://jrrs.mui.ac.ir/ojs/index.php/jrrs/article/view/article_17005_0458cfda59ec8d1915b7f46c5874351d.pdf
39. Barnes KA, Howard JH, Howard DV, Gilotty L, Kenworthy L, Gaillard WD, et al. Intact implicit learning of spatial context and temporal sequences in childhood autism spectrum disorder. Neuropsychology. 2008;22(5):563–70. https://doi.org/10.1037/0894-4105.22.5.563
40. D'Cruz AM, Mosconi MW, Steele S, Rubin LH, Luna B, Minshew N, et al. Lateralized response timing deficits in autism. Biol Psychiatry. 2009;66(4):393–7. https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2009.01.008
41. Travers BG, Klinger MR, Mussey JL, Klinger LG. Motor–linked implicit learning in persons with autism spectrum disorders. Autism Res. 2010;3(2):68–77. https://doi.org/10.1002/aur.123

[Downloaded from jdisabilstud.org on 2026-06-15]

42. Camus M, Ragert P, Vandermeeren Y, Cohen LG. Mechanisms controlling motor output to a transfer hand after learning a sequential pinch force skill with the opposite hand. Clin Neurophysiol. 2009;120(10):1859–65. https://doi.org/10.1016/j.clinph.2009.08.013
43. Dai TH, Liu JZ, Sahgal V, Brown RW, Yue GH. Relationship between muscle output and functional MRI–measured brain activation. Exp Brain Res. 2001;140(3):290–300. https://doi.org/10.1007/s002210100815
44. van Duinen H, Renken R, Maurits NM, Zijdewind I. Relation between muscle and brain activity during isometric contractions of the first dorsal interosseus muscle. Hum Brain Mapp. 2008;29(3):281–99. https://doi.org/10.1002/hbm.20388
45. Dickins DSE, Sale MV, Kamke MR. Intermanual transfer and bilateral cortical plasticity is maintained in older adults after skilled motor training with simple and complex tasks. Front Aging Neurosci. 2015;7:73. https://doi.org/10.3389/fnagi.2015.00073
46. Carroll TJ, Herbert RD, Munn J, Lee M, Gandevia SC. Contralateral effects of unilateral strength training: evidence and possible mechanisms. J Appl Physiol (1985). 2006;101(5):1514–22. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00531.2006
47. 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. Clin Neurophysiol. 2017;128(4):589–603. https://doi.org/10.1016/j.clinph.2017.01.004
48. Perez MA, Lungholt BKS, Nyborg K, Nielsen JB. Motor skill training induces changes in the excitability of the leg cortical area in healthy humans. Exp Brain Res. 2004;159(2):197–205. https://doi.org/10.1007/s00221-004-1947-5
49. Clarke PJF, Sprlyan BF, Hirsch CR, Meeten F, Notebaert L. tDCS increases anxiety reactivity to intentional worry. J Psychiatr Res. 2020;120:34–9. https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2019.10.013

[Downloaded from jdisabilstud.org on 2026-06-15]