

Review Paper

The Effect of tDCS on the Executive Functions of Iranian Children and Adolescents With Neurodevelopmental Disorders: A Systematic Review and Meta-analysis



Fateme Gheysari¹ , *Mehrdad Mazaheri¹

1. Department of Psychology, Faculty of Education and Psychology, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.



Citation Gheysari F, Mazaheri M. [The Effect of Transcranial Direct Electrical Stimulation (tDCS) on the Executive Functions of Iranian Children and Adolescents With Neurodevelopmental Disorders: A Systematic Review and Meta-analysis (Persian)]. *Iranian Journal of Psychiatry and Clinical Psychology*. 2025; 31:E5192.1. <http://dx.doi.org/10.32598/ijpcp.31.5192.1>

doi <http://dx.doi.org/10.32598/ijpcp.31.5192.1>

Received: 25 Sep 2024

Accepted: 06 Jun 2025

Available Online: 10 Jul 2025

ABSTRACT

Objectives Transcranial direct current stimulation (tDCS) has been proposed as a promising treatment for the rehabilitation of patients with neurodevelopmental disorders. The present study was aimed to review the impact of tDCS on the executive functions of Iranian children and adolescents with neurodevelopmental disorders.

Methods This is a systematic review and meta-analysis. The related studies from 2014 to 2024 were searched in Web of Science, Scopus, PubMed, Scientific Information Database (SID), and the comprehensive humanities portal. The qualitative assessment of studies was performed using the Jadad scale. The standardized mean difference (SMD) was calculated with a 95% confidence interval (CI) in CMA software, version 2 to measure the effect size. Duval and Tweedie's trim-and-fill method and funnel plots were used to analyze sensitivity and publication bias. After careful screening, 23 studies were finally included in the systematic review and meta-analysis.

Results The meta-analysis results showed a significant effect of tDCS on the executive functions of Iranian children and adolescents with neurodevelopmental disorders (SDM=1.04; 95% CI, 0.83%, 1.25%; $P<0.001$). The subgroup analysis showed that tDCS had the greatest effect on the attention component compared to other components of executive function. Also, tDCS had a greater effect on children and adolescents with specific learning disorders than on those with attention deficit/hyperactivity disorder (ADHD).

Conclusion Although there are promising findings for the effectiveness of tDCS in improving attention deficit/hyperactivity disorder and specific learning disorder, there is a lack of randomized controlled clinical trials with long-term follow-up in Iran, especially for autism spectrum disorder.

Key words:

Transcranial direct current stimulation (tDCS), Executive functions, Neurodevelopmental disorders

* Corresponding Author:

Mehrdad Mazaheri, Associate Professor.

Address: Department of Psychology, Faculty of Education and Psychology, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

Tel: +98 (915) 1172418

E-mail: mazaheri@hamoon.usb.ac.ir



Copyright © 2025 The Author(s); Publisher by Iran University Medical Sciences
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Extended Abstract

Introduction

Neurodevelopmental disorders are psychiatric conditions that develop early in life and involve abnormalities in the central nervous system function. Many neurodevelopmental disorders, such as attention deficit/hyperactivity disorder (ADHD), specific learning disorder (SLD), developmental coordination disorder (DCD), and autism spectrum disorder (ASD), are characterized by deficits in executive functions. Impaired executive functions in children lead to a variety of problems, including aggression, inattention, and behavioral and communication problems. Transcranial direct current stimulation (tDCS) has been proposed as a promising treatment for the rehabilitation of neurodevelopmental disorders. Studies suggest that tDCS can improve memory, attention, and executive functions through mechanisms such as changes in resting membrane potential, cerebral blood flow, synaptic plasticity, neurotransmitter levels, and brain network connectivity. The effects of tDCS on executive functions in children and adolescents are contradictory across studies, and the evidence is limited. In addition, so far, no systematic review or meta-analysis has examined the effects of tDCS on executive functions in Iranian children and adolescents with neurodevelopmental disorders. Therefore, the present systematic review and meta-analysis aimed to investigate whether tDCS can improve executive functions in Iranian children and adolescents with neurodevelopmental disorders.

Methods

This is a systematic review and meta-analysis. The related studies were searched in the [Web of Science](#), [Scopus](#), [PubMed](#), [Scientific Information Database \(SID\)](#), and the [Comprehensive Portal for Humanities](#). The search was conducted on studies published from 2014 to 2024 using the following keywords and strategy: (“Transcranial direct current stimulation” OR “tDCS” OR “direct current stimulation”) AND (“executive function” OR “attention” OR “working memory” OR “cognitive flexibility” OR “inhibition” OR “processing speed” OR “planing”) AND (“neurodevelopmental disorders” “attention-deficit/hyperactivity disorder” OR “ADHD” OR “autism spectrum disorder” OR “ASD” OR “specific learning disorder” OR “SLD” OR “Communication disorders” OR “intellectual disability”) AND (“children” OR “adolescents” OR “teenagers”) AND (“Iran” OR “Iranian”).

PICO-SD criteria were used to design eligibility criteria:

1. Participants: Children (6-12 years) and adolescents (13-18 years) residing in Iran with neurodevelopmental disorders (ADHD, ASD, SLD, DCD, intellectual disability (ID), communication disorders),
2. Interventions: Experimental group with tDCS alone (anodal protocol),
3. Control: Control group with sham tDCS or no additional intervention,
4. Outcome: Executive functions (working memory, attention, inhibition, cognitive flexibility, planning, and processing speed),
5. Study design: Experimental or quasi-experimental studies with pre-test/post-test design and a control group. Two authors (Fateme Gheysari, Mehrdad Mazaheri) independently assessed the eligibility of studies.

Articles that met the inclusion criteria were selected for full-text review. Any disagreements about the eligibility of the studies were discussed and solved by reaching a consensus. The data were analyzed in CMA software, version 2. To measure the effect of tDCS, the standardized mean difference (SMD) was calculated as the difference between groups in mean values divided by the pooled standard deviation, with a 95% confidence interval (CI). Duval and Tweedie's trim-and-fill method and funnel plots were used to analyze sensitivity and publication bias.

Results

A total of 536 articles were first retrieved. Irrelevant literature, review studies, duplicates, and case reports were identified and removed based on title and abstract reviews, resulting in 37 full-text articles being retrieved. Fourteen studies were excluded due to publication bias and lack of data on the mean and standard deviation of the control and experimental groups. Finally, 23 articles were included in the systematic review and meta-analysis. There were 74 effect sizes, and studies evaluated a total of 614 patients in the active tDCS, sham tDCS, and control groups. The characteristics of these studies are presented in [Table 1](#).

The effect size of tDCS on the executive functions was 1.04 (SMD=1.04, 95% CI, 0.83%, 1.25%; $P<0.001$). The effect size was statistically significant, indicating a significant impact of tDCS on the executive functions of Iranian children and adolescents with neurodevelopmental disorders. Forest plot of the effectiveness of tDCS on cognitive functions of patients compared to controls is shown in [Figure 1](#). Based on the results of the trim-and-fill method, adding eight studies to the left side of the funnel plot make the mean of the funnel plot symmetrical.

Table 1. Characteristics of studies used in the systematic review

Study (y)	Current intensity (mA)	Sample Size	Gender	Age (y)	Type of Disorder	No. of Treatment Sessions	Duration of Each Session (Minutes)	Executive Functions	Executive Functions Measure
Nejati et al. (2017) [21]	1	15	Girl and boy	8-15	ADHD	-	15	Cognitive flexibility Working memory Response inhibition Interference control	WCST Nback Go/NoGo Stroop
Estaji et al. (2024) [28]	2	24	Girl and boy	6-12	ADHD	3	20	Working memory Response inhibition	Nback Go/NoGo
Sayafan et al. (2023) [29]	1	24	Girl and boy	8-11	ADHD	10	20	Selective attention	Stroop
Amouzadeh et al. (2022) [30]	1	45	Girl and boy	9-16	ADHD	10	15	Sustained attention	CPT
Arshadi et al. (2022) [31]	1	30	Girl and boy	8-12	ADHD	10	10	Inhibition control Cognitive flexibility	Go/NoGo WCST
Ayatnia & Mirzaie (2022)[32]	1.5-2	32	Girl and boy	15-18	ADHD	18	30	Executive function Working memory	CAQ Nback
Soleymani & Kazemi Monit (2020) [33]	0-2	30	Girl and boy	8-12	ADHD	10	10	Cognitive flexibility Processing speed	WCST WPST
Fattahi AA et al. (2020) [34]	1	23	Boy	6-11	ADHD	10	10	Response inhibition	Go/NoGo
Fattahi Andebil et al. (2018) [35]	1	23	Boy	6-11	ADHD	10	10	Working memory	Nback
Soltaninejad et al. (2015) [36]	1.5	20	-	15-17	ADHD	3	15	Response inhibition Inhibition control	Go/NoGo Stroop
Jazini & Sheikh (2022) [37]	1.5	48	Girl	7-10	DCD	5	20	Visual and auditory working memory	CANTAB
Ramezani Golafzani et al. (2021) [38]	1	20	Girl and boy	7-14	Mild ID	5	30	Verbal working memory	Tehran-Stanford-Binet Intelligence
Amiri et al. (2022) [39]	-	20	Boy	8-11	ASD	12	20	Cognitive flexibility Inhibition control Planning	WCST Stroop TOL
Fazel & Rostamoghli (2023) [40]	2	40	Girl and boy	-	SLD	10	20	Sustained attention Working memory	CPT Nback
Mehrvali et al. (2023) [41]	1.5	40	Girl and boy	11-12	SLD	10	20	Cognitive flexibility Response inhibition	WCST Stroop

Study (y)	Current intensity (mA)	Sample Size	Gender	Age (y)	Type of Disorder	No. of Treatment Sessions	Duration of Each Session (Minutes)	Executive Functions	Executive Functions Measure
Ahmadi et al. (2021) [42]	2	26	Girl and boy	7-9	SLD	5	20	Sustained attention Selective attention	CPT Stroop
Moslemi et al. (2020) [43]	1.5	24	Boy	8-10	SLD	15	20	Working memory Attention	Nback CAARS
Rahimi et al. (2019) [44]	1.5	30	Girl and boy	8-12	SLD	10	20	Visual attention	CogLab
Zemestani et al. (2019) [45]	2	30	Girl and boy	7-12	SLD	10	20	Attention	IVA
Bagheri et al. (2019) [46]	-	20	Girl and boy	7-11	SLD	10	20	Processing speed	SDMT
Rajaie Poor & Seedmanesh (2018) [47]	1	20	Girl and boy	9-13	SLD	10	15	Working memory	Andre Rey
Rooholamini et al. (2018) [48]	1.5	20	Girl and boy	7-9	SLD	10	20	Selective attention Cognitive flexibility	Stroop WCST
Arjmandnia et al. (2016) [49]	1	20	Girl and boy	7-14	SLD	10	10	Working memory	Nback

Iranian Journal of
PSYCHIATRY AND CLINICAL PSYCHOLOGY

Abbreviations: WCST: Wisconsin card sorting test; CAQ: Cognitive ability questionnaire; WPST: Wechsler processing speed test; CANTAB: Cambridge neuropsychological test automated battery; CPT: Continuous performance test; CAARS: Conners adult ADHD rating scale; IVA: Integrated visual and auditory test; SDMT: Symbol digit modalities test.

Conclusion

This meta-analysis showed that tDCS was effective in improving executive functions in Iranian children and adolescents with neurodevelopmental disorders. The current research provides preliminary evidence for the therapeutic potential of tDCS for ADHD, ASD, and childhood and adolescent dyslexia.

The included studies had low methodological quality, as they lacked randomized clinical trials. Few studies reported follow-up data, so we did not have sufficient data to assess the persistence of the tDCS effect. There was a lack of sham tDCS in some studies. Therefore, future randomized, sham-controlled clinical trials and studies with follow-up periods are needed to assess the effectiveness of tDCS on executive functions in Iranian children and adolescents with neurodevelopmental disorders. Safety and tolerability indicators and side effects were not reported in the studies to demonstrate the safety of tDCS for children and adolescents. Therefore, future studies should use a standardized adverse event questionnaire to assess tolerance and adverse events of tDCS. Additionally, the

included studies varied in terms of participants' age, gender, and level of disorder, resulting in heterogeneous data from which our results were obtained. In addition, most of the studies examined the effect of tDCS on executive functions in children and adolescents with ADHD and SLD. There is a need for future studies to examine the effects of tDCS on executive functions in children and adolescents with other neurodevelopmental disorders, especially ASD.

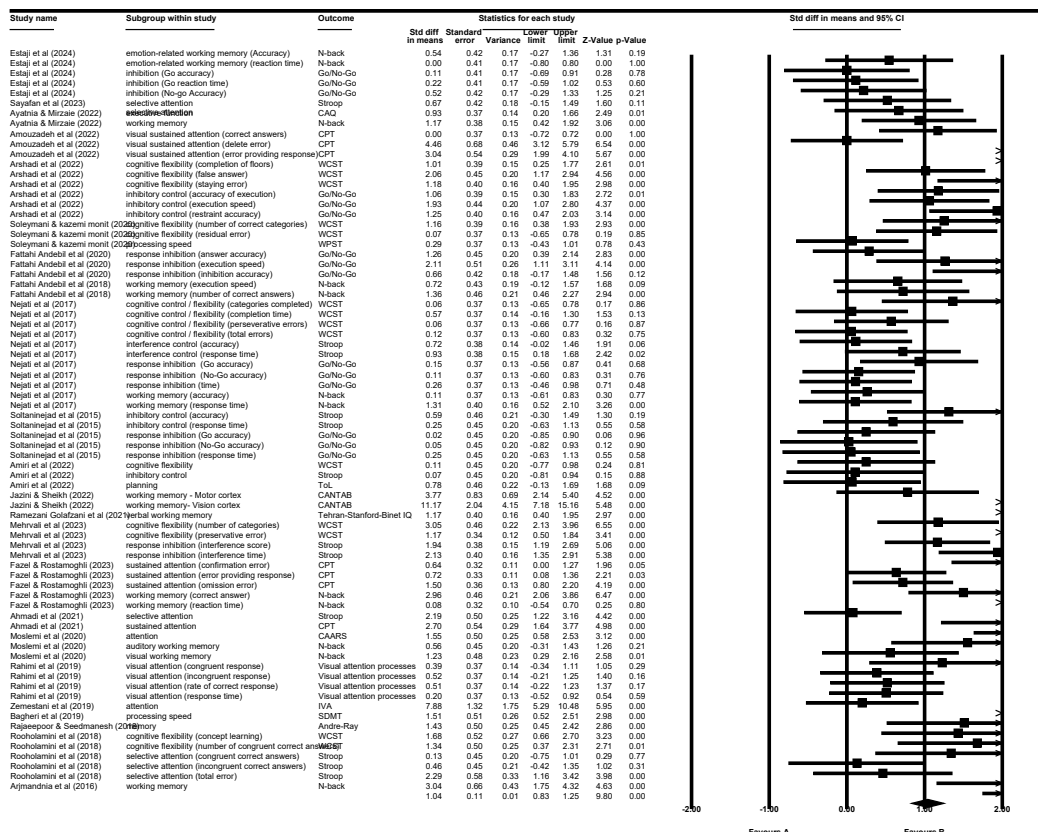
Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

This is a systematic review and meta-analysis with no human or animal samples; therefore, the need for an ethical approval code was waived.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for profit sectors.



Meta Analysis

Figure 1. Forest plot of the effectiveness of tDCS on executive functions of patients compared to controls.

Authors contributions

All authors contributed equally to the conception and design of the study, data collection and analysis, interpretation of the results, and drafting of the manuscript. Each author approved the final version of the manuscript for submission.

Conflicts of interest

The authors declare no conflicts of interest.

مقاله مروری

تأثیر تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای (tDCS) بر کارکردهای اجرایی کودکان و نوجوانان ایرانی مبتلا به اختلالات عصبی رشدی: یک مرور نظام‌مند و فراتحلیل

فاطمه قیصری^۱، *مهرداد مظاهری^۱

۱. گروه روانشناسی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

Use your device to scan
and read the article online

Citation Gheysari F, Mazaheri M. [The Effect of Transcranial Direct Electrical Stimulation (tDCS) on the Executive Functions of Iranian Children and Adolescents With Neurodevelopmental Disorders: A Systematic Review and Meta-analysis (Persian)] *Iranian Journal of Psychiatry and Clinical Psychology*. 2025; 31:E5192.1. <http://dx.doi.org/10.32598/ijpcp.31.5192.1>

doi <http://dx.doi.org/10.32598/ijpcp.31.5192.1>

چکیده

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳ مهر ۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۶ خرداد ۱۴۰۴

تاریخ انتشار: ۱۹ تیر ۱۴۰۴

اهداف: تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای (tDCS) به‌عنوان یک درمان امیدوارکننده برای توانبخشی اختلالات عصبی رشدی پیشنهاد شده است. پژوهش حاضر با هدف بررسی اثربخشی تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای بر کارکردهای اجرایی کودکان و نوجوانان ایرانی مبتلا به اختلالات عصبی رشدی انجام شده است.

مواد و روش‌ها: مطالعات اولیه از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۴ با کلیدواژه‌های «تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای»، «کارکردهای اجرایی»، «حافظه کاری»، «توجه»، «انعطاف‌پذیری شناختی»، «بازداری»، «سرعت پردازش»، «برنامه‌ریزی»، «کودکان»، «نوجوانان»، «اختلالات عصبی رشدی»، «اختلال نقص توجه/بیش‌فعالی»، «اختلال طیف اوتیسم»، «اختلال هماهنگی رشدی»، «اختلال یادگیری خاص»، «توانایی ذهنی»، «اختلالات ارتباطی»، «ایران» و «ایرانی» با استفاده از پایگاه‌های داده وب‌آوساینس، اسکوپوس، پایمده، پایگاه مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی و پرتال جامع علوم انسانی جست‌وجو شدند. پس از بررسی دقیق، ۲۳ مطالعه در مرور نظام‌مند و فراتحلیل قرار گرفتند. ارزیابی کیفیت مطالعات توسط مقیاس Jadad و توسط دو نویسنده به‌صورت جداگانه انجام شد. تفاوت میانگین استاندارد شده به‌عنوان تفاوت بین گروه‌ها در فاصله اطمینان ۹۵ درصدی با استفاده از نرم‌افزار CMA جهت اندازه اثر تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای محاسبه شد.

یافته‌ها: نتایج فراتحلیل تأثیر قابل توجه تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای در کارکردهای اجرایی کودکان و نوجوانان ایرانی مبتلا به اختلالات عصبی رشدی را نشان داد (SDM=۱/۰۴، ۹۵٪ CI=۱/۲۵-۰/۸۳، $P<۰/۰۰۱$). تجزیه و تحلیل زیرگروهی فراتحلیل حاضر نشان داد تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای بیشترین تأثیر بر مؤلفه توجه نسبت به دیگر مؤلفه‌های کارکرد اجرایی داشته است. همچنین تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای بر کودکان و نوجوانان مبتلا به اختلال یادگیری خاص نسبت به کودکان و نوجوانان مبتلا به اختلال نقص توجه/بیش‌فعالی تأثیر بیشتری داشته است.

نتیجه‌گیری: اگرچه پژوهش‌های فعلی یافته‌های امیدوارکننده‌ای برای اثربخشی تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای در اختلال نقص توجه/بیش‌فعالی و اختلال یادگیری خاص نشان می‌دهد، اما کمبود مطالعات کارآزمایی‌های تصادفی‌سازی و کنترل شده با پیگیری طولانی‌مدت برای ارزیابی اثر تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای برای اختلالات عصبی رشدی به‌خصوص طیف اوتیسم در ایران وجود دارد.

کلیدواژه‌ها:

تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای، کارکردهای اجرایی، اختلالات عصبی رشدی

* نویسنده مسئول:

دکتر مهرداد مظاهری

نشانی: زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، گروه روانشناسی.

تلفن: ۱۱۷۲۴۱۸ (۹۱۵) ۹۸+

پست الکترونیکی: mazaheri@hamoon.usb.ac.ir

Copyright © 2024 The Author(s); Publisher by Iran University Medical Sciences

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

مقدمه

اختلالات عصبی رشدی شرایط روانپزشکی هستند که در ابتدای زندگی به وجود می‌آیند و شامل ناهنجاری‌هایی در رشد سیستم عصبی مرکزی هستند. اختلالات عصبی رشدی می‌تواند به مشکلات عاطفی و رفتاری و اختلال در عملکرد روانی، اجتماعی، تحصیلی و شغلی منجر شود [۱]. اختلالات عصبی رشدی شامل اختلال نقص توجه/بیش‌فعالی، اختلال طیف اوتیسم، اختلال هماهنگی رشدی، اختلالات یادگیری خاص، ناتوانی ذهنی و اختلالات ارتباطی است [۲]. شیوع اختلالات عصبی رشدی تقریباً در ۵ تا ۷ درصد از جمعیت عمومی است. اغلب از اوایل کودکی شروع می‌شود، تا بزرگسالی ادامه می‌یابد و معمولاً با الگویی از مشکلات در فرآیندهای شناختی خاص مشخص می‌شوند. به‌عنوان مثال، می‌توانند در پردازش حسی و ارتباطات اجتماعی (اختلال طیف اوتیسم)، تشخیص چهره (پروپاگنوزیا) یا حرکت و هماهنگی (اختلال هماهنگی رشدی) رخ دهند [۳].

در بسیاری از اختلالات عصبی رشدی مانند اختلال نقص توجه/بیش‌فعالی، یادگیری خاص و اختلالات طیف اوتیسم نقص در کارکردهای اجرایی دیده می‌شوند. کارکردهای اجرایی مجموعه‌ای از توانایی‌های کنترل شناختی است که در هماهنگی رفتار انعطاف‌پذیر و هدفمند نقش دارند [۴] و با رشد حیاتی مغز در دوران کودکی و نوجوانی مرتبط هستند [۵]. توافق کلی در مورد سه کارکرد اجرایی اصلی کنترل بازداری، حافظه کاری و انعطاف‌پذیری شناختی وجود دارد [۶].

کودکان مبتلا به اختلالات عصبی رشدی از جمله مبتلایان به اختلال طیف اوتیسم و اختلال نقص توجه/بیش‌فعالی اغلب به‌دلیل مشکلات در مهارت‌های کارکرد اجرایی از جمله حافظه کاری، برنامه‌ریزی، بازداری و توجه با چالش‌های تحصیلی مواجه می‌شوند که برای رفتار سازگاری و یادگیری ضروری است. این کودکان بدون توجه به علائم همراه، به‌طور مشابه با اختلالاتی در سرعت پردازش، حافظه کاری و بازداری پاسخ مواجه می‌شوند [۷]. بازداری و برنامه‌ریزی دو مورد از مهم‌ترین کارکردهای اجرایی در نظر گرفته می‌شوند که به‌طور کلی شامل چندین فرآیند شناختی مانند سازماندهی، حافظه کاری، توجه، حل مسئله، استدلال کلامی، انعطاف‌پذیری شناختی و نظارت می‌شود. حافظه کاری نقش اساسی در اختلال نقص توجه/بیش‌فعالی دارد. تصور می‌شود ناهنجاری‌ها در حافظه کاری دیداری-فضایی یکی از مهم‌ترین نقایص در نیم‌رخ عصبی روان‌شناختی کودکان مبتلا به اختلال نقص توجه/بیش‌فعالی باشد. رابطه بین کارکردهای اجرایی و پیشرفت تحصیلی ضعیف به‌خوبی مستند شده است. کودکان مبتلا به اختلال یادگیری خاص در عملکرد اجرایی مرکزی و به‌ویژه در حافظه کاری دچار نقص هستند. به نظر می‌رسد حافظه کاری کلامی و فضایی هر دو با کسب اولیه توانایی‌های خواندن و ریاضی مرتبط باشند [۸].

وجود مشکل در کارکردهای اجرایی کودکان به مشکلات زیادی از جمله پرخاشگری، بی‌توجهی، مشکلات رفتاری و ارتباطی منجر می‌شود [۹]. کارکردهای اجرایی یک هدف احتمالی و همچنین ابزاری برای مداخله توانبخشی اختلالات عصبی رشدی هستند [۱۰]. تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای (tDCS) به‌عنوان یک درمان امیدوارکننده برای توانبخشی اختلالات عصبی رشدی پیشنهاد شده است [۱۱]. مطالعات نشان می‌دهد تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای می‌تواند حافظه، توجه و کارکرد اجرایی را از طریق مکانیسم‌هایی مانند تغییر در پتانسیل غشای استراحت، جریان خون مغزی، پلاستیسیته سیناپسی، سطوح انتقال‌دهنده‌های عصبی و اتصال به شبکه مغز بهبود بخشد [۱۲].

تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای شامل انتقال جریان‌های الکتریکی ضعیف (معمولاً بین ۱ تا ۲ میلی‌آمپر) به پوست سر با استفاده از دو الکترود، یک آند با بار مثبت و یک کاتد با بار منفی است. تصور می‌شود جریان پتانسیل غشای استراحت نورون‌ها را بسته به قطبیت الکترود تعدیل می‌کند، به‌طوری‌که تحریک آندال باعث دپلاریزاسیون پتانسیل غشاء شده و تحریک پذیرق قشر مغز را افزایش می‌دهد و تحریک کاتدی باعث ایجاد هیپرپلاریزاسیون و کاهش تحریک‌پذیری قشر مغز می‌شود [۱۳]. تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای به‌طور پایدار تحریک‌پذیری و اتصال عصبی را تعدیل می‌کند. تجویز مکرر آن می‌تواند شبکه‌های ناکارآمد مغز را به نحو مطلوبی تغییر دهد [۱۴]. تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای انعطاف‌پذیری عصبی را ممکن می‌سازد. به مغز اجازه می‌دهد ارتباطات جدید بین نورون‌ها را سازماندهی کند [۶].

برخلاف دارودرمانی، تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای شامل تجویز منظم داروها نمی‌شود، بنابراین از بسیاری از عوارض جانبی مرتبط جلوگیری می‌کند. علاوه‌براین، جلسات تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای نسبتاً کوتاه هستند و می‌توان آن‌ها را به‌راحتی اجرا کرد و به‌طور بالقوه بار سیستم‌های مراقبت بهداشتی را کاهش می‌دهد و سازگاری بیمار را در مقایسه با مداخلات طولانی‌مدت روان‌درمانی افزایش می‌دهد [۱۵]. همچنین نتایج اخیر نشان داده است تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای در کودکان و نوجوانان بی‌خطر است و به‌خوبی قابل تحمل است.

مرور نظام‌مند و فراتحلیل بوکان و همکاران که به‌طور هدفمند برای ارزیابی ایمنی، تحمل و مقبولیت تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای در کودکان و نوجوانان سالم و دارای اختلال طراحی شده بود، نشان داد در سطح بین‌المللی، تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای ایمن و بسیار قابل تحمل به نظر می‌رسد [۱۵]. مرور نظام‌مند و فراتحلیل زودی و همکاران نشان داد الگوهای استاندارد تحریک غیرتهاجمی مغز در کودکان بی‌خطر و قابل تحمل است [۱۶]. مرور نظام‌مند و فراتحلیل لی و همکاران نشان داد تحریک

1. Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS)

هدف از مرور نظام‌مند و فراتحلیل حاضر بررسی این مهم است که آیا تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای می‌تواند کارکردهای اجرایی را در کودکان و نوجوانان ایرانی مبتلا به اختلالات عصبی رشدی بهبود بخشد یا خیر؟

روش

مرور نظام‌مند و فراتحلیل حاضر براساس دستورالعمل‌های موارد گزارش ترجیحی برای مرورهای نظام‌مند و فراتحلیل (PRISMA 2020) گزارش شده است [۲۴].

جست‌وجوی ادبیات

مطالعات اولیه با استفاده از پایگاه‌های داده وب‌آوساینس^۲، اسکوپوس^۳، پابمد^۴، اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی^۵ و پرتال جامع علوم انسانی^۶ جست‌وجو شدند. جست‌وجو از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۴ با استفاده از کلیدواژه‌های «تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای»، «کارکردهای اجرایی»، «حافظه کاری»، «توجه»، «انعطاف‌پذیری شناختی»، «بازداری»، «سرعت پردازش»، «برنامه‌ریزی»، «کودکان»، «نوجوانان»، «اختلالات عصبی رشدی»، «اختلال نقص توجه/بیش‌فعالی»، «اختلال طیف اوتیسم»، «اختلال هماهنگی رشدی»، «اختلال یادگیری خاص»، «اتوانی ذهنی»، «اختلالات ارتباطی»، «ایران» و «ایرانی» انجام گردید. ادبیات خاکستری با استفاده از موتورهای جست‌وجوگر گوگل اسکالر^۷ جست‌وجو شد.

کلمات کلیدی که در پایگاه‌های داده جست‌وجو شدند، بدین شرح است:

("transcranial direct current stimulation" OR "tDCS" OR "direct current stimulation") AND ("executive function" OR "attention" OR "working memory" OR "cognitive flexibility" OR "inhibition" OR "processing speed" OR "planing") AND ("neurodevelopmental disorders" "attention-deficit/hyperactivity disorder" OR "ADHD" OR "autism spectrum disorder" OR "ASD" OR "specific learning disorder" OR "SLD" OR "Communication disorders" OR "intellectual disability") AND ("children" OR "adolescents" OR "teenagers") AND ("Iran" OR "Iranian")

جریان مستقیم فراجمجمه‌ای در کودکان و نوجوانان مبتلا به اختلالات عصبی رشدی (اختلال نقص توجه/بیش‌فعالی، اوتیسم، اختلالات یادگیری) ایمن و قابل تحمل است [۱۷].

گزینه‌های درمانی تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای در شرایط مختلف روانپزشکی آزمایش شده است [۱۸]. مرور نظام‌مند و فراتحلیل نرمایشی و اکبری اثرات قابل توجه تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای را بر بهبود کارکردهای اجرایی از جمله حافظه کاری، بازداری، انعطاف‌پذیری شناختی نشان داد [۱۹]. مرور نظام‌مند و فراتحلیل محمدی مولود و همکاران نشان داد تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای، یکی از مداخلات مؤثر در بهبود کارکردهای اجرایی و عملکرد ریاضی کودکان مبتلا به اختلال یادگیری است [۲۰]. مرور نظام‌مند و فراتحلیل نجاتی و همکاران در بررسی تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای بر اختلالات اجرایی کودکان مبتلا به اختلال نقص توجه/بیش‌فعالی نشان داد تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای کنترل پاسخ، کنترل تداخل، حافظه کاری و انعطاف‌پذیری شناختی را بهبود بخشید [۲۱]. مرور نظام‌مند و فراتحلیل صالحی‌نژاد و همکاران نشان داد اثرات بهبود بخشی از تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای بر نقایص شناختی از جمله بازداری پاسخ، حافظه کاری، توجه و انعطاف‌پذیری شناختی گزارش شده است [۲۲].

باوجوداین، مرور نظام‌مند و فراتحلیل گالوپ و همکاران نشان داد نتایج تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای در کودکان و نوجوانان با اختلالات روانپزشکی اگرچه دلگرم‌کننده است، اما شواهد تا به امروز برای این نتیجه‌گیری قاطعانه کافی نیست که تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای می‌تواند علائم بالینی و شناخت را در کودکان و نوجوانان با اختلالات روانپزشکی بهبود بخشد [۲۳].

از آنجایی که مداخلات دارویی تا به امروز در مقابله با این کاهش ناکارآمد بوده است، درک میزان بهبود عملکردهای شناختی توسط تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای مطمئناً از اهمیت بالینی برخوردار است. چنین درکی را نمی‌توان به راحتی با مقایسه کیفی در بین مطالعات به دست آورد، زیرا یافته‌ها ترکیبی هستند و درست مانند سایر حوزه‌های شناختی، ناهمگونی زیادی در طرح‌های تجربی، تکالیف و پروتکل‌های تحریک وجود دارد. نتایج این مطالعات را می‌توان در یک فراتحلیل ادغام کرد تا کارایی کلی اثرات تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای را با اندازه اثر نشان داد [۱۳].

اثرات تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای برای کارکردهای اجرایی در کودکان و نوجوانان در مطالعات مختلف متناقض است، و شواهد برای تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای محدودیت‌هایی دارد. علاوه بر این بررسی‌ها نشان می‌دهد تاکنون، هیچ مرور نظام‌مند یا فراتحلیل اثرات تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای را بر کارکردهای اجرایی کودکان و نوجوانان ایرانی مبتلا به اختلالات عصبی رشدی بررسی نکرده است. بنابراین

2. Web of Science

3. Scopus

4. Pubmed

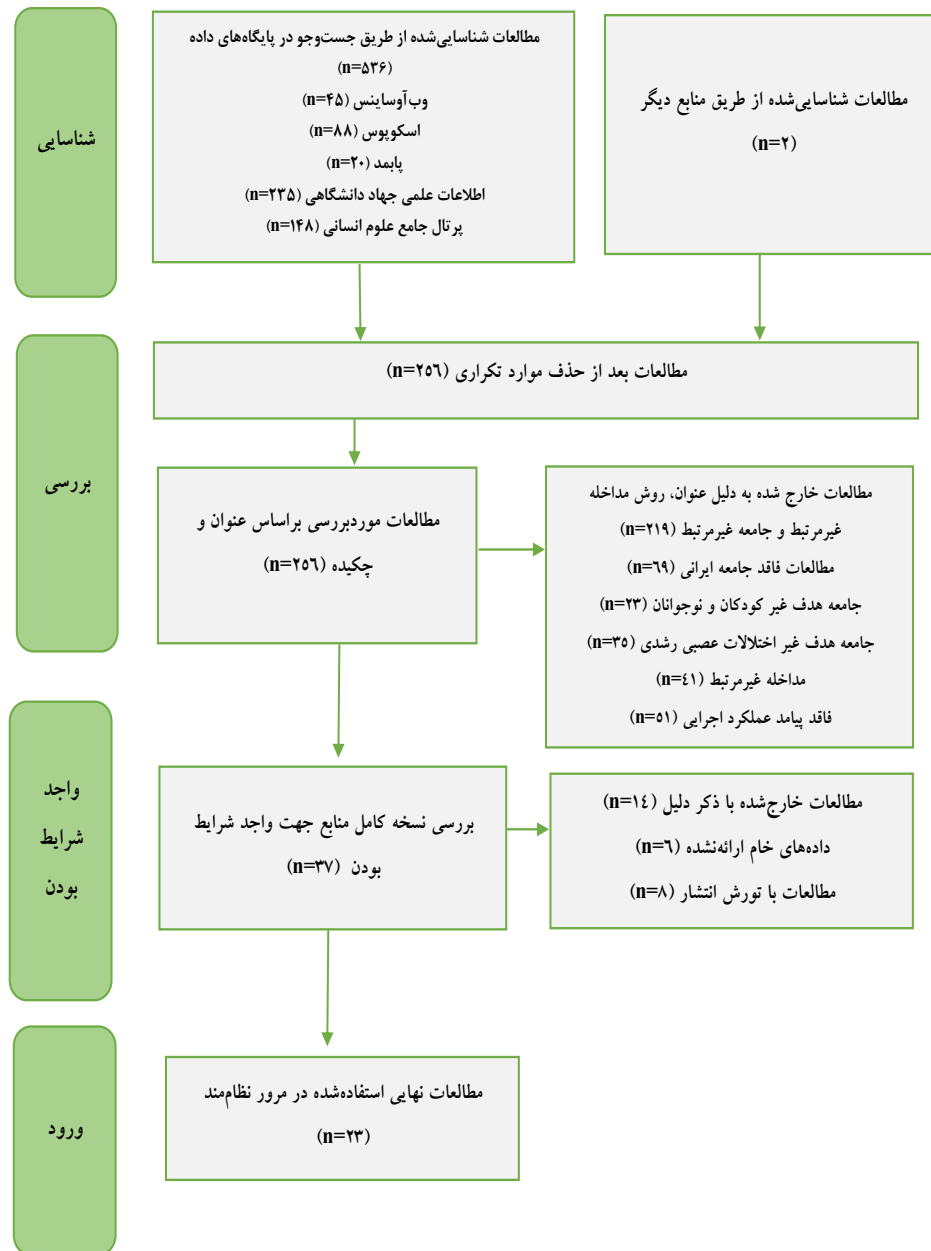
5. Scientific Information Database (SID)

6. www.ensani.ir

7. Google scholar

جدول ۱. ارزیابی کیفیت مطالعات به وسیله مقیاس Jadad

نمره کل	خروج از مطالعه	کورسازی		تصادفی سازی		پژوهشگر(ان)
		روش کورسازی	کورسازی	روش تصادفی سازی	تخصیص تصادفی	
۴	۰	۱	۱	۱	۱	نجاتی و همکاران (۲۰۲۰) [۲۱]
۴	۰	۱	۱	۱	۱	استاجی و همکاران (۲۰۲۴) [۲۸]
۱	۰	۰	۰	۰	۱	صیافان و همکاران (۱۴۰۲) [۲۹]
۱	۰	۰	۰	۰	۱	عموزاده و همکاران (۱۴۰۱) [۳۰]
۲	۰	۰	۰	۱	۱	ارشدی و همکاران (۱۴۰۱) [۳۱]
۱	۰	۰	۰	۰	۱	آیتنیا و میرزایی (۱۴۰۰) [۳۲]
۲	۰	۰	۰	۱	۱	سلیمانی و کاظمی منیر (۱۳۹۹) [۳۳]
۳	۱	۰	۰	۱	۱	فتاحی اندبیل و همکاران (۱۳۹۹) [۳۴]
۳	۱	۰	۰	۱	۱	فتاحی اندبیل و همکاران (۱۳۹۷) [۳۵]
۴	۱	۰	۱	۱	۱	سلطانی نژاد و همکاران (۲۰۱۹) [۳۶]
۲	۱	۰	۰	۰	۱	جزینی و شیخ (۱۴۰۱) [۳۷]
۲	۱	۰	۰	۰	۱	رضائی گل افزایی و همکاران (۱۴۰۰) [۳۸]
۳	۰	۱	۱	۰	۱	امیری و همکاران (۱۴۰۱) [۳۹]
۱	۰	۰	۰	۰	۱	فاضل و رستم اوغلی (۱۴۰۳) [۴۰]
۱	۰	۰	۰	۰	۱	مهرولی و همکاران (۱۴۰۲) [۴۱]
۲	۰	۰	۱	۰	۱	احمدی و همکاران (۱۴۰۱) [۴۲]
۱	۰	۰	۰	۰	۱	مسلمی و همکاران (۱۳۹۹) [۴۳]
۲	۰	۰	۰	۱	۱	رحیمی و همکاران (۲۰۱۹) [۴۴]
۱	۰	۰	۰	۰	۱	زمستانی و همکاران (۱۳۹۸) [۴۵]
۱	۰	۰	۰	۰	۱	باقری و همکاران (۱۳۹۷) [۴۶]
۱	۰	۰	۰	۰	۱	رجایی پور و سعیدمنش (۱۳۹۷) [۳۷]
۱	۰	۰	۰	۰	۱	روح الامینی و همکاران (۱۳۹۷) [۴۸]
۱	۰	۰	۰	۰	۱	ارجمندنیا و همکاران (۱۳۹۵) [۴۹]



تصویر ۱. نمودار جریان انتخاب مطالعات بر اساس موارد گزارش ترجیحی مرورهای نظام‌مند و فراتحلیل (پریزما)

معیارهای واجد شرایط بودن

معیارهای PICO-SD برای طراحی معیارهای واجد شرایط بودن استفاده شد.

معیارهای ورود

شرکت کنندگان

کودکان (۶-۱۲ سال) و نوجوانان (۱۳-۱۸ سال)، ساکن ایران، مبتلا به اختلالات عصبی رشدی (اختلال نقص توجه/بیش‌فعالی، اختلال طیف اوتیسم، اختلال یادگیری خاص، اختلال هماهنگی

مداخلات

گروه آزمایش با تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای به تنهایی (پروتکل آندی)،

کنترل

گروه کنترل با تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای ساختگی (شم) یا بدون مداخله اضافی،

جدول ۲. مشخصات مطالعات مورد استفاده در مرور نظام‌مند

نوع آزمون	کارکردهای اجرایی	مدت زمان هر جلسه (دقیقه)	تعداد جلسات درمان	نوع اختلال	سن (سال)	جنسیت	حجم نمونه	شدت جریان (میلی آمپر)	پژوهشگر(ان)
دسته‌بندی کارت‌های ویسکانسین (WCST) Nback برونرو (Go/NoGo) استروپ Nback Emotional (Back-۱) برونرو (Go/NoGo)	انعطاف‌پذیری شناختی حافظه کاری بازداری پاسخ کنترل تداخل حافظه کاری (مرتبط با هیجانات) بازداری پاسخ	۱۵	-	ADHD	۱۵-۸	دختر و پسر	۱۵	۱	نجاتی و همکاران (۲۰۲۰) [۲۱]
استروپ Nback Emotional (Back-۱) برونرو (Go/NoGo)	حافظه کاری (مرتبط با هیجانات) بازداری پاسخ	۲۰	۳	ADHD	۱۲-۶	دختر و پسر	۲۴	۲	استاجی و همکاران (۲۰۲۴) [۲۸]
استروپ	توجه انتخابی	۲۰	۱۰	ADHD	۱۱-۸	دختر و پسر	۲۴	۱	صیافان و همکاران (۱۴۰۲) [۲۹]
عملکرد پیوسته (CPT)	توجه پیوسته دیداری	۱۵	۱۰	ADHD	۱۶-۹	دختر و پسر	۴۵	۱	عمزاده و همکاران (۱۴۰۱) [۳۰]
برونرو (Go/NoGo) دسته‌بندی کارت‌های ویسکانسین (WCST) توانایی شناختی نجاتی (CAQ) Nback	کنترل بازداری انعطاف‌پذیری شناختی کارکرد کلی اجرایی حافظه کاری	۱۰	۱۰	ADHD	۱۲-۸	دختر و پسر	۳۰	۱	ارشدی و همکاران (۱۴۰۱) [۳۱]
دسته‌بندی کارت‌های ویسکانسین (WCST) سرعت پردازش و کسلر (WPST) Nback	انعطاف‌پذیری شناختی سرعت پردازش	۱۰	۱۰	ADHD	۱۲-۸	دختر و پسر	۳۰	۰-۲	آیت نیا و میرزایی (۱۴۰۰) [۳۲]
دسته‌بندی کارت‌های ویسکانسین (WCST) سرعت پردازش و کسلر (WPST) Nback	انعطاف‌پذیری شناختی سرعت پردازش	۱۰	۱۰	ADHD	۱۲-۸	دختر و پسر	۳۰	۰-۲	سلیمانی و کاظمی منیر (۱۳۹۹) [۳۳]
برونرو (Go/NoGo)	بازداری پاسخ	۱۰	۱۰	ADHD	۱۱-۶	پسر	۲۳	۱	فتاحی اندبیل و همکاران (۱۳۹۹) [۳۴]
Nback	حافظه کاری	۱۰	۱۰	ADHD	۱۱-۶	پسر	۲۳	۱	فتاحی اندبیل و همکاران (۱۳۹۷) [۳۵]
برونرو (Go/NoGo) استروپ	بازداری پاسخ کنترل بازداری	۱۵	۳	ADHD	۱۷-۱۵	-	۲۰	۱/۵	سلطانی‌نژاد و همکاران (۲۰۱۹) [۳۶]
آزمون حافظه کاری از مجموعه آزمون‌های علوم ذهنی کمبریج (CANTAB)	حافظه کاری دیداری و شنیداری	۲۰	۵	DCD	۱۰-۷	دختر	۴۸	۱/۵	جزینی و شیخ (۱۴۰۱) [۳۷]
هوش آزمای تهران-استنفورد بینه	حافظه کاری کلامی	۳۰	۵	MID	۱۴-۷	دختر و پسر	۲۰	۱	رضائی گل‌افزایی و همکاران (۱۴۰۰) [۳۸]
دسته‌بندی کارت‌های ویسکانسین (WCST) استروپ برج لندن (TOL)	انعطاف‌پذیری شناختی کنترل بازداری برنامه‌ریزی	۲۰	۱۲	ASD	۱۱-۸	پسر	۲۰	-	امیری و همکاران (۲۰۲۲) [۳۹]

پژوهشگر(ان)	شدت جریان (میلی آمپر)	حجم نمونه	جنسیت	سن (سال)	نوع اختلال	تعداد جلسات درمان	مدت زمان هر جلسه (دقیقه)	کارکردهای اجرایی	نوع آزمون
فاضل و رستم اوغلی (۱۴۰۳) [۴۰]	۲	۴۰	دختر و پسر	-	SLD	۱۰	۲۰	توجه پیوسته حافظه کاری	عملکرد پیوسته (CPT) Nback
مهرولی و همکاران (۱۴۰۲) [۴۱]	۱/۵	۴۰	دختر و پسر	۱۲-۱۱	SLD	۱۰	۲۰	انعطاف‌پذیری شناختی بازداری پاسخ	دسته‌بندی کارت‌های ویسکانسین (WCST) استروپ
احمدی و همکاران (۱۴۰۱) [۴۲]	۲	۲۶	دختر و پسر	۹-۷	SLD	۵	۲۰	توجه پیوسته توجه انتخابی	عملکرد پیوسته (CPT) استروپ
مسلمی و همکاران (۱۳۹۹) [۴۳]	۱/۵	۲۴	پسر	۱۰-۸	SLD	۱۵	۲۰	حافظه کاری توجه	Nback توجه کانرز (CAARS)
رحیمی و همکاران (۲۰۱۹) [۴۴]	۱/۵	۳۰	دختر و پسر	۱۲-۸	SLD	۱۰	۲۰	توجه دیداری	فرآیندهای توجه دیداری (نرم افزار CogLab)
زمستانی و همکاران (۱۳۹۸) [۴۵]	۲	۳۰	دختر و پسر	۱۲-۷	SLD	۱۰	۲۰	توجه	عملکرد پیوسته (IVA)
باقری و همکاران (۱۳۹۷) [۴۶]	-	۲۰	دختر و پسر	۱۱-۷	SLD	۱۰	۲۰	سرعت پردازش	سرعت پردازش (SDMT)
رجایی پور و سعیدمنش (۱۳۹۷) [۴۷]	۱	۲۰	دختر و پسر	۱۳-۹	SLD	۱۰	۱۵	حافظه کاری	تصاویر هندسی درهم (Andre Rey)
روح الامینی و همکاران (۱۳۹۷) [۴۸]	۱/۵	۲۰	دختر و پسر	۹-۷	SLD	۱۰	۲۰	انعطاف‌پذیری شناختی	دسته‌بندی کارت‌های ویسکانسین (WCST)
ارجمندنیا و همکاران (۱۳۹۵) [۴۹]	۱	۲۰	دختر و پسر	۱۴-۷	SLD	۱۰	۱۰	حافظه کاری	Nback

مجله روان‌پزشکی و روان‌شناسی بالینی ایران

پیامد

- مطالعات انجام‌شده بر روی بزرگسالان،
- عدم گزارش شاخص‌های موردنیاز جهت محاسبه اندازه اثر،
- مطالعات فراتحلیل، پایان‌نامه و مقالات کنفرانسی،
- مقالاتی که متن کامل آن در دسترس نبودند.

انتخاب مطالعه

دو نویسنده به‌صورت مستقل واجد شرایط بودن مطالعات را ارزیابی کردند. برای تعیین واجد شرایط بودن، دو نویسنده به‌طور مستقل چکیده هر مقاله را برای انتخاب اولیه بررسی کردند. مقالاتی که دارای معیارهای ورود به مطالعه بودند برای بررسی متن کامل نگهداری شدند. سپس مقالات کامل برای بار دوم براساس

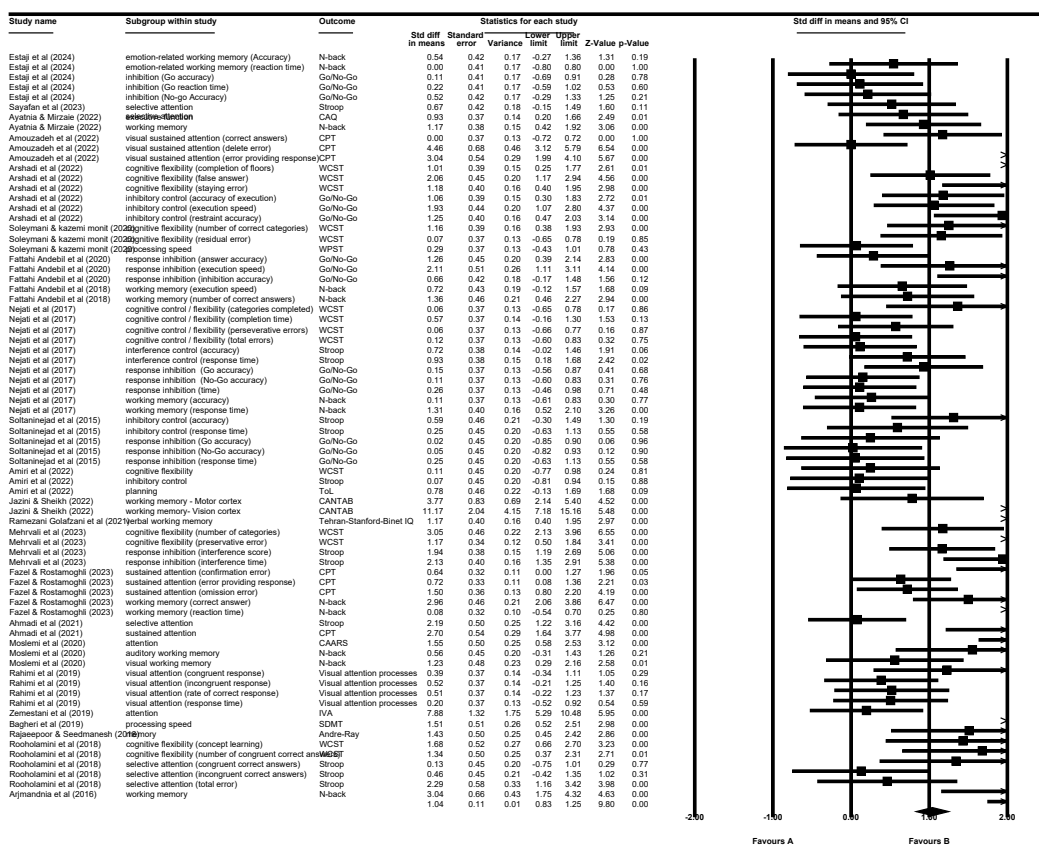
کارکردهای اجرایی (حافظه کاری، توجه، بازداری، انعطاف‌پذیری شناختی، برنامه‌ریزی و سرعت پردازش)،

طرح مطالعه

مطالعات آزمایشی، نیمه‌آزمایشی و شبه‌آزمایشی از نوع پیش‌آزمون و پس‌آزمون با گروه کنترل.

معیارهای خروج

- سایر روش‌های غیرتهاجمی تحریک مغز مانند تحریک مغناطیسی فراجمجمه‌ای و تحریک جریان متناوب فراجمجمه‌ای،



Meta Analysis

مجله روان‌پزشکی و روان‌شناسی بالین ایران

تصویر ۲. نمودار انباشت (Forest Plot) اثربخشی تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای بر کارکردهای اجرایی در مقایسه با گروه کنترل

دو نویسنده به‌صورت جداگانه انجام شد. مقیاس جداد سه مورد را در رابطه با تصادفی‌سازی نمونه‌ها (تخصیص تصادفی)، دوسوکورسازی و خروج از مطالعه (ریزش نمونه) را ارزیابی می‌کند. دامنه نمره کل (۰) تا (۵) امتیاز است. اگر نمره کل ۳ امتیاز یا بالاتر بود، مطالعه به‌عنوان مطالعه با کیفیت بالا ارزیابی می‌شد. اگر نمره کل ۲ امتیاز یا کمتر بود، مطالعه به‌عنوان مطالعه با کیفیت پایین ارزیابی می‌شد. برای مطالعاتی که در آن‌ها انجام دوسوکورسازی غیرممکن بود، اگر نمره کل ۲ امتیاز یا بالاتر بود، مطالعه با کیفیت بالا ارزیابی می‌شود [۲۵].

در مرور نظام‌مند حاضر، مطالعاتی که تصادفی‌سازی نمونه‌ها را انجام دادند امتیاز ۱ و اگر روش تصادفی‌سازی ذکر شده باشد امتیاز ۲ گرفتند. مطالعاتی که کورسازی را انجام دادند امتیاز ۱ و اگر روند کورسازی توضیح داده شده باشد امتیاز ۲ گرفتند. مطالعاتی که تعداد و علل ریزش نمونه‌ها ذکر شده بود امتیاز ۱ و اگر ذکر نشده باشد امتیاز صفر گرفتند. تصادفی‌سازی نمونه‌ها در تمام مطالعات انجام شده بود اما روش آن در ۷ مطالعه ذکر شده بود. تعداد و علل ریزش نمونه‌ها در ۵ مطالعه ذکر شده بود. ۴ مطالعه یک‌سوکور و ۱ مطالعه دوسوکور بود. امکان انجام

معیارهای انتخاب برای تأیید مجدد واجد شرایط بودن غربالگری شدند. هر گونه اختلاف در مورد صلاحیت مورد بحث قرار گرفت تا زمانی که به اجماع رسید. پس از آن، تمام مقالات انتخاب‌شده به‌طور کامل برای بررسی همه معیارهای ورود مطالعه شد.

استخراج داده‌ها

دو نویسنده به‌طور مستقل داده‌ها را استخراج کردند، یک جدول استخراج اطلاعات برای ادبیات تهیه شد. داده‌های زیر از مطالعات وارد شده استخراج شد:

۱. ویژگی‌های مطالعه (نام نویسندگان و سال انتشار)، ۲. حجم نمونه، ۳. ویژگی‌های افراد (سن، جنس و نوع اختلال عصبی رشدی)، پارامترهای مداخله (شدت جریان، مدت و زمان تحریک)، ۴. معیارهای نتیجه.

ارزیابی کیفیت مطالعات

ارزیابی کیفیت مطالعات توسط مقیاس جداد^۸ و توسط

8. Jadad

جدول ۳. نتایج چینش و تکمیل دوال و توفیدی

متغیر	اثر ثابت		اثر تصادفی	
	اندازه اثر	فاصله اطمینان ۹۵٪	اندازه اثر	فاصله اطمینان ۹۵٪
ارزش مشاهدات	۰/۸۷	۰/۹۷-۰/۷۸	۱/۲۱	۱/۵۱-۰/۹۱
ارزش تعدیل شده	۰/۶۸	۰/۷۷-۰/۶	۰/۷۳	۱/۰۶-۰/۴
			۳۵۲/۹۸	۱۸۹/۷۱
			۸	

مجله روان‌پزشکی و روان‌شناسی بالینی ایران

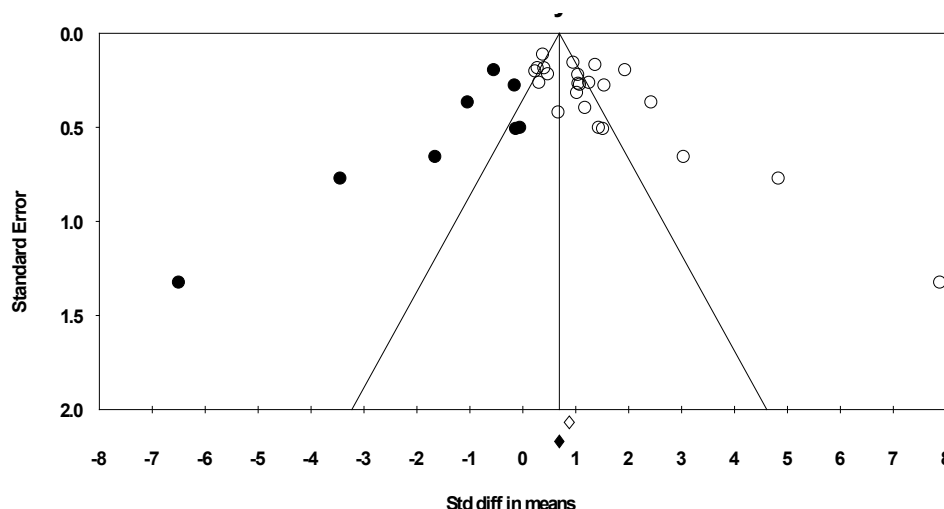
پیوسته^۹ (IVA)، توجه کانرز^{۱۰} (CAARS) بود. توجه پیوسته با استفاده از آزمون عملکرد پیوسته^{۱۱} (CPT) و توجه انتخابی با استفاده از آزمون استروپ (Stroop) ارزیابی شد. جهت ارزیابی توجه دیداری، تکلیف فرآیندهای توجه دیداری با نرم‌افزار Co-gLab استفاده شد. برای حوزه بازداری (بازداری پاسخ، کنترل بازداری و کنترل تداخل) از آزمون‌های برونرو (Go/NoGo) و استروپ (Stroop) استفاده شد. انعطاف‌پذیری شناختی با آزمون دسته‌بندی کارت‌های ویسکانسین^{۱۲} (WCST)؛ برنامه‌ریزی از آزمون برج لندن^{۱۳} (TOL)؛ سرعت پردازش با آزمون‌های سرعت پردازش وکسلر^{۱۴} (WPST) و سرعت پردازش^{۱۵} (SDMT)؛ و کارکرد کلی اجرایی با پرسش‌نامه توانایی شناختی نجاتی^{۱۶} (CAQ) ارزیابی شد.

دوسوکورسازی در بسیاری از مطالعات با توجه به ماهیت مداخله (تحریک جریان مستقیم فراجمعه‌ای) امکان‌پذیر نبود. در بیشتر مطالعات شرکت‌کنندگان به صورت تصادفی به سه گروه آزمایشی، کنترل و شم و یا سه گروه تحریک آندی، کاتدی و شم تقسیم می‌شدند. در گروه شم، تحریک ساختگی برای بی‌اطلاعی شرکت‌کننده از برقراری جریان الکتریکی ایجاد می‌شد. ارزیابی کیفیت مطالعات به وسیله مقیاس Jadad در جدول شماره ۱ ارائه شده است.

معیارهای نتیجه

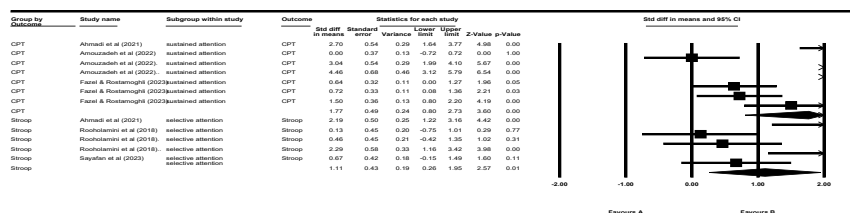
از نظر اندازه‌گیری کارکردهای اجرایی، مطالعات مختلف از مقیاس‌های متفاوتی برای ارزیابی بهبود کارکردهای اجرایی استفاده کردند. برای حوزه حافظه کاری، ارزیابی شامل آزمون‌های ان-بک (N-back) و تصاویر هندسی درهم (Andre Rey) بود. ارزیابی حافظه کاری کلامی با آزمون هوش آزمای تهران-استنفورد بینه بود. حافظه کاری دیداری و شنیداری با آزمون حافظه کاری از مجموعه آزمون‌های علوم ذهنی کمبریج (CANTAB) ارزیابی شد. برای حوزه توجه، ارزیابی شامل آزمون‌های عملکرد

9. Integrated Visual and Auditory (IVA)
10. Conners' Adult ADHD Rating Scales (CAARS)
11. Conners Continuous Performance Test (CPT)
12. Wisconsin Card Sorting Test (WCST)
13. Tower of London (TOL)
14. Wechsler Processing Speed Test (WPST)
15. Symbol Digit Modalities Test (SDMT)
16. Cognitive Abilities Questionnaire (CAQ)



مجله روان‌پزشکی و روان‌شناسی بالینی ایران

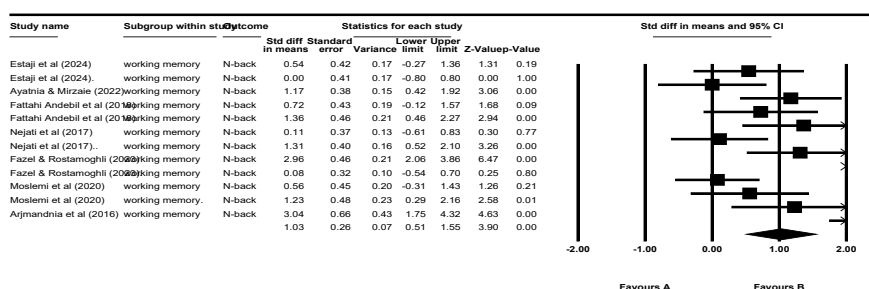
تصویر ۳. نمودار کیفی بعد از تحلیل حساسیت با استفاده از روش چینش و تکمیل دوال و توفیدی



Meta Analysis

مجله روان‌پزشکی و روان‌شناسی بالینی ایران

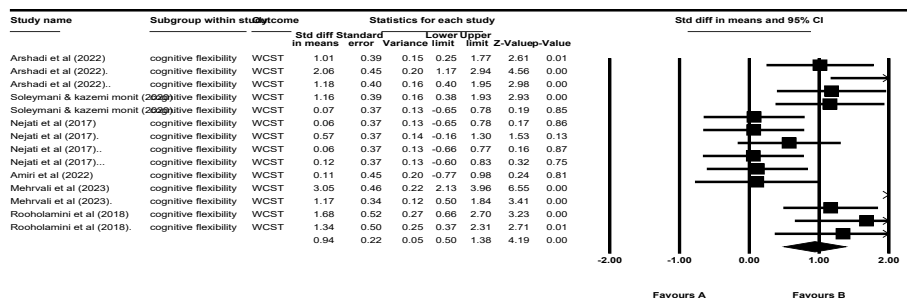
تصویر ۴. نمودار انباشت اندازه اثر تحریک جریان مستقیم فراجمه‌ای بر کارکرد توجه بین گروه آزمایش و کنترل



Meta Analysis

مجله روان‌پزشکی و روان‌شناسی بالینی ایران

تصویر ۵. نمودار انباشت اندازه اثر تحریک جریان مستقیم فراجمه‌ای بر کارکرد حافظه کاری بین گروه آزمایش و کنترل



Meta Analysis

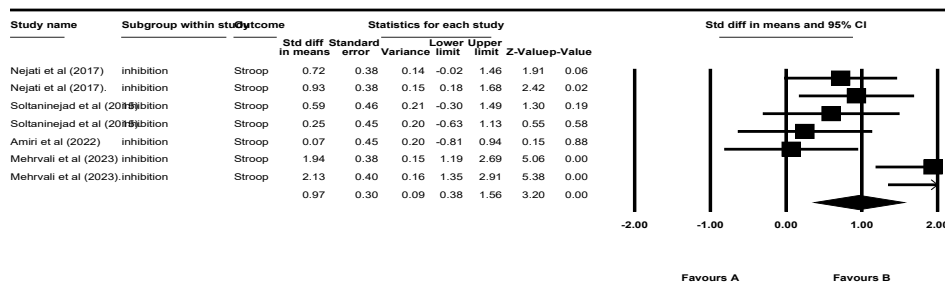
مجله روان‌پزشکی و روان‌شناسی بالینی ایران

تصویر ۶. نمودار انباشت اندازه اثر تحریک جریان مستقیم فراجمه‌ای بر کارکرد انعطاف‌پذیری شناختی بین گروه آزمایش و کنترل

واحد یکسانی استفاده نمی‌کرد، به‌جای تفاوت میانگین از تفاوت میانگین استاندارد شده استفاده شد [۲۶]. ناهمگونی داده‌ها با استفاده از آماره I² اندازه‌گیری شد و ۲۵ درصد یا ۵۰ درصد یا ۷۵ درصد به‌ترتیب کم، متوسط و زیاد در نظر گرفته شدند. یک مدل اثرات تصادفی برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد. تجزیه و تحلیل زیرگروهی برای کشف دلایل بالقوه ناهمگونی استفاده شد. در تمام آنالیزها $P < 0.05$ از نظر آماری معنی‌دار در نظر گرفته شد

تجزیه و تحلیل داده‌ها

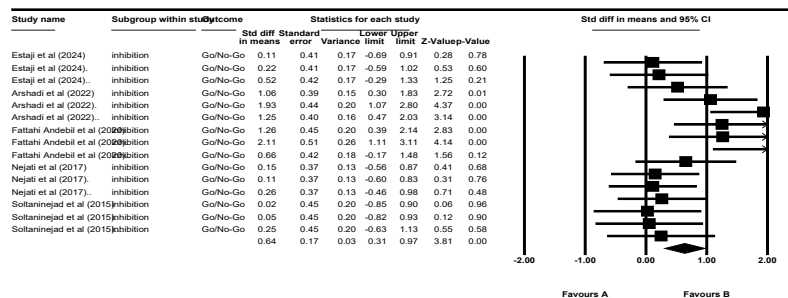
داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار CMA نسخه دوم تجزیه و تحلیل شدند. جهت اندازه‌گیری اثر تحریک جریان مستقیم فراجمه‌ای، تفاوت میانگین استاندارد شده (SMD) به‌عنوان تفاوت بین گروه‌ها در مقادیر میانگین تقسیم بر انحراف معیار ادغام شده در فاصله اطمینان ۹۵ درصدی محاسبه شد. چون پیامد در بین مطالعات از



Meta Analysis

مجله روان‌پزشکی و روان‌شناسی بالینی ایران

تصویر ۷. نمودار انباشت اندازه اثر تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای بر کارکرد بازداری (آزمون استروپ) بین گروه آزمایش و کنترل



Meta Analysis

مجله روان‌پزشکی و روان‌شناسی بالینی ایران

تصویر ۸. نمودار انباشت اندازه اثر تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای بر کارکرد بازداری (آزمون برو-نرو) بین گروه آزمایش و کنترل

[۵۰]. جهت تحلیل حساسیت و سوگیری انتشار از روش چینش و تکمیل دوال و تویییدی^{۱۷} (Trim and fill) و نمودار قیفی^{۱۸} استفاده شد [۲۷].

یافته‌ها

با جست‌وجو در پایگاه داده الکترونیکی، ۵۳۶ مطالعه بازبایی شد. از این مطالعات، ۲۸۲ مطالعه تکراری با استفاده از نرم‌افزار EndNote حذف شدند. بررسی عناوین و چکیده مطالعات باقی‌مانده به حذف ۲۱۹ مطالعه به دلایل زیر منجر شد:

۱. مطالعات فاقد جامعه ایرانی بود (n=۶۹)،
۲. شرکت‌کنندگان بیشتر از ۱۸ سال داشتند بودند (n=۲۳)،
۳. شرکت‌کنندگان اختلالات عصبی رشدی نداشتند (n=۳۵)،
۴. پیامد عملکردهای اجرایی نبود (n=۵۱)،
۵. مداخله غیرمرتبط داشتند (n=۴۱).

ویژگی مطالعه
تعداد کل مطالعات وارده شده ۲۳ مورد با ۷۴ اندازه اثر بود که مجموعاً ۶۱۴ نفر را در گروه تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای، شام و کنترل ارزیابی کردند. تعداد ۱۰ مطالعه کودکان و نوجوانان مبتلا به اختلال نقص توجه/بیش‌فعالی (ADHD)، ۱۰ مطالعه کودکان و نوجوانان مبتلا به یادگیری خاص (SLD)، ۱ مطالعه کودکان مبتلا به اختلال طیف اوتیسم (SLD)، ۱ مطالعه کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی (DCD) و ۱ مطالعه کودکان و

17. Dual and Tweedie's Trim and Fill
18. Funnel plot

محاسبه می‌نماید. نتایج روش اصلاح دووال و توثیدی در جدول شماره ۳ ارائه شده است. براساس نتایج روش اصلاح دووال و توثیدی با اضافه کردن ۸ مطالعه به سمت چپ میانگین نمودار کیفی حالت متقارن پیدا می‌کند.

مقدار ناهمگونی با استفاده از آزمون Q و شاخص I^2 ($Q=334/70$ ، $I^2=78/19$ ، $P<0/001$) ارزیابی شد. مقدار Q از نظر آماری معنی‌دار بود و نشان‌دهنده تفاوت واقعی بین اندازه اثر مطالعات اولیه است. مقدار شاخص I^2 بزرگ ارزیابی شد و بیانگر ناهمگونی در مطالعات اولیه بود. بنابراین برای بررسی نقش متغیرهای تعدیل‌گر که ممکن است این ناهمگونی به دلیل اثر احتمالی آن‌ها ایجاد شده باشد و همچنین جهت مقایسه زیر گروه‌ها، تجزیه و تحلیل زیر گروهی انجام شد.

تجزیه و تحلیل زیر گروهی

عواملی که احتمالاً بر ناهمگونی تأثیر می‌گذارند از جمله نوع آزمون (باتوجه به استفاده از ابزارهای مختلف برای اندازه‌گیری کارکردهای اجرایی) و نوع اختلال عصبی رشدی (نقص توجه/ بیش‌فعالی، اختلالات یادگیری خاص و غیره) برای تجزیه و تحلیل زیر گروهی انتخاب شدند. از میان مطالعاتی که وارد فراتحلیل شدند، مقیاس‌های نمره کارکردهای اجرایی مورد استفاده در حداقل ۳ مطالعه به عنوان شاخص‌های نتیجه انتخاب شدند [۵۱]. آزمون‌های ان-بک (N-back)، استروپ (Stroop)، عملکرد پیوسته (CPT)، برو-نرو (Go/NoGo) و دسته‌بندی کارت‌های ویسکانسین (WCST) تجزیه و تحلیل شدند.

توجه

اثر تحریک جریان مستقیم فرایمجمه‌ای بر توجه در ۶ مطالعه با استفاده از آزمون‌های استروپ (Stroop) و عملکرد پیوسته (CPT) مورد ارزیابی قرار گرفت. ۳ مطالعه اثر تحریک جریان مستقیم فرایمجمه‌ای را بر حوزه توجه انتخابی با استفاده از آزمون استروپ (Stroop) و ۳ مطالعه اثر تحریک جریان مستقیم فرایمجمه‌ای را بر حوزه توجه پیوسته با استفاده از آزمون عملکرد پیوسته (CPT) گزارش کردند. تجزیه و تحلیل زیر گروهی تفاوت معنی‌داری را بین گروه تحریک جریان مستقیم فرایمجمه‌ای و گروه کنترل در آزمون استروپ ($SDM=1/77$ ؛ 95% CI= $1/95-0/26$ ؛ $P<0/001$) و در آزمون عملکرد پیوسته ($SDM=1/11$ ؛ 95% CI= $2/73-0/8$ ؛ $P<0/001$) نشان داد (تصویر شماره ۴).

حافظه کاری

اثر تحریک جریان مستقیم فرایمجمه‌ای بر حافظه کاری در ۷ مطالعه با استفاده از آزمون ان-بک (N-back)، مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج فراتحلیل تفاوت معنی‌داری را بین گروه تحریک

نوجوانان مبتلا به ناتوانی ذهنی خفیف (MID) را بررسی کردند. تعداد جلسات مداخلات بین ۳ تا ۱۸ جلسه و مدت زمان هر جلسه از ۱۰ تا ۳۰ دقیقه متغیر بود. ویژگی مطالعات گنجانده شده در جدول شماره ۲ برای مرور نظام‌مند حاضر ارائه شده است.

نتایج فراتحلیل

نتایج پژوهش حاضر نشان داد اندازه اثر تحریک جریان مستقیم فرایمجمه‌ای بر کارکردهای اجرایی کودکان و نوجوانان ایرانی مبتلا به اختلالات عصبی رشدی برابر با $1/04$ در سطح اطمینان ۹۵ درصد و در فاصله اطمینان $0/83$ تا $1/25$ ($SDM=1/04$ ؛ 95% CI= $1/25-0/83$ ؛ $P<0/001$) بود. اندازه اثر از لحاظ آماری معنادار بود و نشان‌دهنده تأثیر زیاد تحریک جریان مستقیم فرایمجمه‌ای بر کارکردهای اجرایی کودکان و نوجوانان ایرانی مبتلا به اختلالات عصبی رشدی بود.

نمودار انباشت^{۱۹} اثربخشی تحریک جریان مستقیم فرایمجمه‌ای بر کارکردهای شناختی کودکان و نوجوانان ایرانی مبتلا به اختلالات عصبی رشدی در مقایسه با گروه کنترل در تصویر شماره ۲ نشان داده شده است.

تحلیل حساسیت و سوگیری انتشار

در مقایسه با سایر روش‌های آماری روش چینش و تکمیل (trim-and-fill) برای شناسایی و تنظیم سوگیری انتشار بالقوه نسبتاً بصری و کارآمد است. روش چینش و تکمیل یک تحلیل حساسیت به‌طور گسترده شناخته شده بر اساس عدم تقارن نمودار کیفی است که ممکن است نشان‌دهنده انتشارات گم شده باشد. اگر مقادیر گم شده شناسایی شوند، می‌توان تصحیح اندازه اثر را محاسبه کرد. در نمودار کیفی، محور افقی نشان‌دهنده مقادیر اندازه‌های اثر مطالعات و محور عمودی خطای معیار است. خطوط بریده‌ای که یک ناحیه مثلثی ایجاد می‌کنند، حدود ۹۵٪ اطمینان (تحت مدل اثر ثابت) را نشان می‌دهند و خط ثابت عمودی نشان‌دهنده اندازه کلی اثر است. مطالعات گم شده توسط سوگیری انتشار در یک فراتحلیل معمولاً به یک طرح کیف نامتقارن قابل توجه منجر می‌شود [۲۶].

دایره‌های توخالی نشان‌دهنده مطالعات مشاهده شده، و دایره‌های توپر نشان‌دهنده مطالعات گم شده است. همان‌طور که در تصویر شماره ۳ مشاهده می‌شود مطالعات مشاهده شده حول محور میانگین اثر به‌طور متقارن توزیع نشده‌اند و پراکندگی حول یک طرفه میانگین نشان‌دهنده سوگیری انتشار است. لذا جهت بررسی و اصلاح سوگیری انتشار از روش چینش و تکمیل دووال و توثیدی استفاده شد. در این روش، مطالعات گم شده در سمت چپ نمودار را که ایجاد آن‌ها حالت تورش را از بین می‌برد

19. Forest Plot

SDM؛ ۹۵٪، $CI=1/1-0/5/81$ ؛ $P<0/001$) نسبت به کودکان و نوجوانان مبتلا به اختلال نقص توجه/بیش‌فعالی، ($SDM=0/76$ ؛ ۹۵٪، $CI=0/98-0/53$ ؛ $P<0/001$)، تأثیر بیشتری دارد.

بحث

مرور نظام‌مند و فراتحلیل حاضر با هدف بررسی تأثیر تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای بر کارکردهای اجرایی کودکان و نوجوانان ایرانی مبتلا به اختلالات عصبی رشدی انجام شد. نتایج فراتحلیل نشان داد اثر تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای بر کارکردهای اجرایی کودکان و نوجوانان مبتلا به اختلالات عصبی رشدی مؤثر بوده است. یافته‌های حاضر همسو با یافته‌های مرور نظام‌مند و فراتحلیل صالحی‌نژاد و همکاران [۲۲]، محمدی مولود و همکاران [۲۰]، نجاتی و همکاران [۲۱]، فتحی آذر و همکاران [۵۲]، خالقی و همکاران [۵۳]، کازمو و همکاران [۵۴] و صالحی‌نژاد و همکاران [۵۵] بود.

مرور نظام‌مند و فراتحلیل صالحی‌نژاد و همکاران نشان داد اثربخشی تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای بر بهبود نقایص شناختی از جمله بازداری پاسخ، حافظه کاری، توجه و انعطاف‌پذیری شناختی گزارش شده است. قشر جلوی پیشانی خلفی چپ و راست نواحی هستند که اغلب مورد هدف قرار می‌گیرند و تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای آندال پروتکلی است که اغلب مورد استفاده قرار می‌گیرد. به نظر می‌رسد تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای یک روش امیدوارکننده برای بهبود اختلال نقص توجه/بیش‌فعالی باشد [۲۲].

مرور نظام‌مند و فراتحلیل کازمو و همکاران در بررسی تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای در اختلال نقص توجه/بیش‌فعالی بهبودهای قابل‌توجهی در توجه، کنترل بازداری و حافظه کاری، علاوه بر افزایش اتصال مغز به دنبال استفاده از تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای گزارش کرد [۵۴]. مرور نظام‌مند و فراتحلیل فتحی آذر و همکاران نشان داد تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای می‌تواند بر مهارت‌های شناختی کودکان و نوجوانان مبتلا به اختلال یادگیری خاص تأثیر مثبت بگذارد [۵۲].

در تبیین یافته‌های پژوهش حاضر می‌توان بیان کرد که مکانیسم زیربنایی تأثیر تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای تعدیل فعالیت تحریکی و/یا مهارتی است که آن را به ابزاری ارزشمند برای بازگرداندن تعادل تحریک/مهار (E/I) که در بسیاری از اختلالات عصبی رشدی مختل می‌شود تبدیل می‌کند. فرآیندهای اولیه رشد، مانند شکل‌گیری و مهاجرت نورون‌ها، تشکیل و بلوغ سیناپس‌ها و اصلاح این سیناپس‌ها به ایجاد مدارهای عصبی منجر می‌شود که در آن خروجی‌های تحریکی و مهارتی به‌خوبی متعادل می‌شوند. این مهم برای اطمینان از اینکه پاسخ به محرک‌ها کافی است و فعالیت شبکه به‌خوبی تنظیم شده و به درستی زمان‌بندی شده است، مهم است. از سوی دیگر،

جریان مستقیم فراجمجمه‌ای و گروه کنترل در آزمون ان-بک ($SDM=1/03$ ؛ ۹۵٪، $CI=1/55-0/51$ ؛ $P<0/001$) نشان داد (تصویر شماره ۵).

انعطاف‌پذیری شناختی

اثر تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای بر انعطاف‌پذیری شناختی در ۶ مطالعه با استفاده از آزمون دسته‌بندی کارت‌های ویسکانسین (WCST) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج فراتحلیل تفاوت معنی‌داری را بین گروه تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای و گروه کنترل در آزمون دسته‌بندی کارت‌های ویسکانسین ($SDM=0/94$ ؛ ۹۵٪، $CI=1/38-0/5$ ؛ $P<0/001$) نشان داد (تصویر شماره ۶).

بازداری

اثر تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای بر بازداری (بازداری پاسخ، کنترل بازداری و کنترل تداخل) در ۹ مطالعه با استفاده از آزمون‌های برو-نرو^{۲۰} و استروپ (Stroop) مورد ارزیابی قرار گرفت. ۴ مطالعه اثر تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای را با استفاده از آزمون استروپ (Stroop) و ۵ مطالعه اثر تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای را با استفاده از آزمون برو-نرو (Go/NoGo) برای بازداری گزارش کردند. نتایج فراتحلیل تفاوت معنی‌داری را بین گروه تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای و گروه کنترل در آزمون استروپ ($SDM=0/97$ ؛ ۹۵٪، $CI=0/97-0/31$ ؛ $P<0/001$) نشان داد (تصاویر شماره ۷، ۸).

به‌طور خلاصه تجزیه و تحلیل زیرگروهی براساس نوع آزمون اجرایی نشان داد تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای بیشترین تأثیر را بر مؤلفه توجه انتخابی با استفاده از آزمون استروپ پیوسته در آزمون عملکرد پیوسته ($SDM=1/11$ ؛ ۹۵٪، $CI=2/73$ ؛ $P<0/001$) نسبت به دیگر مؤلفه‌های کارکرد اجرایی داشته است.

جهت بررسی نقش نوع اختلال عصبی رشدی، اختلال نقص توجه/بیش‌فعالی و اختلال یادگیری خاص مورد بررسی قرار گرفت. به‌دلیل اینکه تأثیر تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای بر کارکردهای اجرایی کودکان و نوجوانان مبتلا به اختلالات عصبی رشدی دیگر به‌صورت خیلی محدود بررسی شده بود (کمتر از ۳ مطالعه)، لذا از مقایسه زیرگروهی حذف گردیدند. تجزیه و تحلیل زیرگروهی نوع اختلال عصبی رشدی نشان داد تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای بر کارکردهای اجرایی کودکان و نوجوانان مبتلا به اختلال یادگیری خاص ($SDM=1/43$)

تغییرات در انتقال تحریکی با پلاستیسیته سیناپسی و در نتیجه یادگیری و حافظه مرتبط است. این تغییرات همچنین به‌طور مهمی توسط فعالیت بازدارنده تنظیم می‌شوند. مولکول‌های مرتبط با تنظیم تعادل تحریک/مهار در اوایل دوره پس از تولد ظاهر می‌شوند. در مراحل اولیه رشد پس از تولد، تغییرات در تعداد، توزیع و نوع گیرنده‌های گابا و گلوتامات، و همچنین برگشت قطبیت گابا از دپلاریزاسیون به هیپرپلاریزه، به افزایش فعالیت مهاری و کاهش تحریک‌کننده منجر می‌شود.

علاوه بر این، تأخیر در بلوغ سیناپس‌های بازدارنده، دریچه‌ای برای شکل‌پذیری وابسته به فعالیت ایجاد می‌کند که در مراحل اولیه رشد رخ می‌دهد. شروع اختلالات عصبی رشدی متعدد با این دوره بحرانی مطابقت دارد. با تسهیل بازیابی تعادل فعالیت عصبی، تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای ممکن است یک درمان بالقوه برای اختلالات عصبی رشدی باشد که در آن عدم تعادل تحریک/مهار نقش اصلی را ایفا می‌کند [۱۱].

به‌طور کلی تحقیقات فعلی شواهد اولیه‌ای را برای پتانسیل درمانی تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای در اختلال نقص توجه/بیش‌فعالی، اختلال طیف اوتیسم و نارساخوانی دوران کودکی و نوجوانی ارائه می‌دهد. با این حال، هنوز راه درازی برای ایجاد مداخلات مبتنی بر تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای در جمعیت در حال رشد وجود دارد. پروتکل‌های تحریک اعمال شده در اختلالات عصبی رشدی که بیشتر مورد مطالعه قرار گرفته‌اند، نشان می‌دهند نیاز به ایجاد پروتکل‌های تحریک خاص علائم وجود دارد که شرایط خاص اختلال را در نظر بگیرند. متغیرهای بین فردی نیز باید در نظر گرفته شود. این امر در مغز در حال رشد که دستخوش تغییرات فیزیولوژیکی گسترده و سریع می‌شود، اهمیت بیشتری دارد. اتخاذ یک رویکرد فردی این امکان را می‌دهد که به‌طور هدفمند کمبودها و علائم را هدف قرار دهیم و تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای را در افرادی که احتمالاً به درمان پاسخ می‌دهند، اعمال کنیم [۵۶].

همچنین ویژگی‌های اختلالات عصبی رشدی متفاوت است و هر مورد نمیرخ منحصربه‌فردی از مشکلات و نقاط قوت را نشان می‌دهد. در نتیجه، شناسایی اختلال همیشه ساده نیست و اغلب در مدارس و جاهای دیگر به اشتباه درک می‌شود. ممکن است فرد به جای اینکه برای حمایت مناسب ارجاع شود، به‌عنوان «تنبل» یا «مشکل‌ساز» برچسب زده شود که پیامدهایی برای روابط معلم و دانش‌آموز دارد. در نتیجه، کودکان مبتلا به اختلالات عصبی رشدی می‌توانند خودکارآمدی ضعیف‌تری داشته و سطوح بالاتری از اضطراب و افسردگی را که اغلب از سنین پایین مشاهده می‌شوند، افزایش دهند که می‌تواند تا بزرگسالی ادامه یابد. این مشکلات بیشتر بر عملکرد آن‌ها در مدرسه و دستاوردهای حرفه‌ای آن‌ها تأثیر می‌گذارد. لازم به ذکر است که نرخ بیکاری در میان افراد مبتلا به اختلالات عصبی رشدی به‌طور قابل توجهی بالاتر است.

بهبود این نتایج بدون شک مزایای شخصی و روانی قابل توجهی را برای این افراد به ارمغان می‌آورد. شناسایی زودهنگام و حمایت از چنین شرایطی برای بهبود نتایج در زندگی آینده مهم است [۲]. پیشنهاد می‌شود غربالگری اولیه برای نقایص شناختی کودکان انجام شود. غربالگری اولیه برای نقایص شناختی ممکن است به هدایت ارجاعات برای ارزیابی بیشتر، دسترسی زودهنگام به درمان‌ها و بهبود نتایج کمک کند. بدون غربالگری زودهنگام، نقص‌های کودکان ممکن است شناسایی نشود که به چالش‌های مهم در مدرسه منجر می‌شود و کودک را در معرض خطر مشکلات رفتاری و عاطفی قرار می‌دهد. غربالگری زودهنگام می‌تواند با شناسایی دغدغه‌ها در حوزه‌های کارکرد اجرایی کودکان، به مناسب‌سازی برنامه‌های مداخله‌ای کمک کند. غربالگری شناختی آنلاین در بزرگسالان و نوجوانان در دو دهه اخیر پیشرفت چشمگیری داشته است. مدیریت آنلاین سهولت و دسترسی به تست‌های شناختی را که می‌تواند به‌عنوان غربال‌کننده نقص در کارکرد اجرایی مورد استفاده قرار گیرد، ارتقا داده است. غربالگرهای شناختی آنلاین می‌توانند به ارزیابی‌های فردی و حمایت مفید متناسب با مهارت‌های خاص کارکرد اجرایی در کودکان کمک کنند [۷].

نتیجه‌گیری

شواهد موجود نشان داد تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای می‌تواند به‌طور قابل توجهی کارکردهای اجرایی کودکان و نوجوانان ایرانی مبتلا به اختلالات عصبی رشدی را بهبود بخشد. پژوهش حاضر چندین محدودیت دارد. مطالعات وارد شده کیفیت روش‌شناختی پایینی داشتند، زیرا تعداد اندکی از مطالعات کارآزمایی‌هایی بالینی تصادفی شده بودند. مطالعات اندکی داده‌های پیگیری را گزارش کردند، بنابراین داده‌های کافی برای ارزیابی تداوم تأثیر تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای در اختیار نداشتیم. فقدان تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای شم در گروه کنترل در بعضی مطالعات وجود داشت. بنابراین مطالعات آینده نیاز به مطالعات کارآزمایی‌های بالینی و تصادفی‌سازی، کنترل شده شم با دوره‌های پیگیری مناسب برای ارزیابی اثربخشی تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای بر کارکردهای اجرایی کودکان و نوجوانان ایرانی مبتلا به اختلالات عصبی رشدی وجود دارد.

شاخص‌های مرتبط با ایمنی و تحمل‌پذیری و عوارض جانبی در مطالعات اولیه گزارش نشد که ایمنی تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای را در کودکان و نوجوانان مطابق با مطالعات اخیر نشان دهد. بنابراین، مطالعات آینده باید از پرسش‌نامه عوارض جانبی استاندارد برای ارزیابی تحمل و عوارض جانبی تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای استفاده کنند. همچنین مطالعات وارد شده از نظر سن، جنسیت و سطح اختلال متفاوت بودند.

بنابراین نتایج ما از داده‌های ناهمگن به دست آمد. علاوه بر این، اکثر مطالعات اولیه، تأثیر تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای را بر کارکردهای اجرایی کودکان و نوجوانان مبتلا به اختلال نقص توجه/بیش‌فعالی و اختلال یادگیری خاص بررسی کرده بود. لذا نیاز به مطالعات آینده جهت بررسی تأثیر تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای بر کارکردهای اجرایی کودکان و نوجوانان مبتلا به دیگر اختلالات عصبی رشدی بخصوص اختلال طیف اوتیسم وجود دارد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

این مقاله مرور نظام‌مند می‌باشد که بر روی نمونه‌های انسانی و حیوانی انجام نشده است. برای اساس نیاز به کد اخلاق نبود و تمام قوانین اخلاق در پژوهش رعایت شده است.

حامی مالی

این پژوهش هیچ‌گونه کمک مالی از سازمانی‌های دولتی، خصوصی و غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان به‌طور یکسان در مفهوم و طراحی مطالعه، جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل داده‌ها، تفسیر نتایج و تهیه پیش نویس مقاله مشارکت داشتند.

تعارض منافع

در مقاله حاضر، هیچ‌گونه تعارض منافع وجود ندارد.

References

- [1] Dall'Aglia L, Muka T, Cecil CAM, Bramer WM, Verbiest MMPJ, Nano J, et al. The role of epigenetic modifications in neurodevelopmental disorders: A systematic review. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. 2018; 94:17-30. [DOI:10.1016/j.neubiorev.2018.07.011] [PMID]
- [2] Morris-Rosendahl DJ, Crocq M-A. Neurodevelopmental disorders-the history and future of a diagnostic concept. *Dialogues in Clinical Neuroscience*. 2020; 22(1):65-72. [DOI:10.31887/DCNS.2020.22.1/macroq] [PMID]
- [3] Maw KJ, Beattie G, Burns EJ. Cognitive strengths in neurodevelopmental disorders, conditions and differences: A critical review. *Neuropsychologia*. 2024; 197:108850. [DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2024.108850] [PMID]
- [4] Korzeniowski C, Ison MS, Difabio de Anglat H. A summary of the developmental trajectory of executive functions from birth to adulthood. In: Ángel Gargiulo P, Luis Mesones Arroyo H, editors. *Psychiatry and neuroscience update: From epistemology to clinical psychiatry*. New York: Springer Publishing; 2021. [DOI:10.1007/978-3-030-61721-9_33]
- [5] Lucas I, Puteikis K, Sinha MD, Litwin M, Merkevicus K, Azukaitis K, et al. Knowledge gaps and future directions in cognitive functions in children and adolescents with primary arterial hypertension: A systematic review. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*. 2022; 9:973793. [DOI:10.3389/fcvm.2022.973793] [PMID]
- [6] Souissi S, Chamari K, Bellaj T. Assessment of executive functions in school-aged children: A narrative review. *Frontiers in Psychology*. 2022; 13:991699. [DOI:10.3389/fpsyg.2022.991699] [PMID]
- [7] Hennessy A, Nichols ES, Al-Saoud S, Brossard-Racine M, Duerden EG. Identifying cognitive profiles in children with neurodevelopmental disorders using online cognitive testing. *Clinical Child Psychology and Psychiatry*. 2024; 29(2):591-607. [DOI:10.1177/13591045241228889] [PMID]
- [8] Crisci G, Caviola S, Cardillo R, Mammarella IC. Executive functions in neurodevelopmental disorders: Comorbidity overlaps between attention deficit and hyperactivity disorder and specific learning disorders. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2021; 15:594234. [DOI:10.3389/fnhum.2021.594234] [PMID]
- [9] Abdolmohamadi K, Ashouri A, Ghadiri Sourman Abadi F, Mohammadzadeh A. [Prediction of executive functions based on impairment in motor and linguistic growth (Persian)]. *Iranian Journal of Psychiatry and Clinical Psychology*. 2020; 26(2):188-99. [DOI:10.32598/ijpcp.26.2.227.12]
- [10] Flori V, Lettieri M, Prandi R. Development profiles of executive functions in preschool age: Observational study in generalized development disorder. *Journal of Advanced Health Care*. 2023; 5(2):1-11. [DOI:10.36017/jahc202352232]
- [11] Sousa B, Martins J, Castelo-Branco M, Gonçalves J. Transcranial direct current stimulation as an approach to mitigate neurodevelopmental disorders affecting excitation/inhibition balance: Focus on autism spectrum disorder, schizophrenia, and attention deficit/hyperactivity disorder. *Journal of Clinical Medicine*. 2022; 11(10):2839. [DOI:10.3390/jcm11102839] [PMID]
- [12] Zhang X, Huang M, Yu Y, Zhong X, Dai S, Dai Y, et al. Is Transcranial Direct Current Stimulation Effective For Cognitive Dysfunction In Substance Use Disorders? A systematic review. *Brain Sciences*. 2024; 14(8):754. [DOI:10.3390/brainsci14080754] [PMID]
- [13] Galli G, Vadillo MA, Sirota M, Feurra M, Medvedeva A. A systematic review and meta-analysis of the effects of transcranial direct current stimulation (tDCS) on episodic memory. *Brain Stimulation*. 2019; 12(2):231-41. [DOI:10.1016/j.brs.2018.11.008] [PMID]
- [14] Talar K, Vetrovsky T, van Haren M, Négyesi J, Granacher U, Vácsi M, et al. The effects of aerobic exercise and transcranial direct current stimulation on cognitive function in older adults with and without cognitive impairment: A systematic review and meta-analysis. *Ageing Research Reviews*. 2022; 81:101738. [DOI:10.1016/j.arr.2022.101738] [PMID]
- [15] Buchanan DM, Bogdanowicz T, Khanna N, Lockman-Dufour G, Robaey P, D'Angiulli A. Systematic review on the safety and tolerability of transcranial direct current stimulation in children and adolescents. *Brain Sciences*. 2021; 11(2):212. [DOI:10.3390/brainsci11020212] [PMID]
- [16] Zewdie E, Ciechanski P, Kuo HC, Giuffre A, Kahl C, King R, et al. Safety and tolerability of transcranial magnetic and direct current stimulation in children: Prospective single center evidence from 3.5 million stimulations. *Brain Stimulation*. 2020; 13(3):565-75. [DOI:10.1016/j.brs.2019.12.025] [PMID]
- [17] Lee JC, Kenney-Jung DL, Blacker CJ, Doruk Camsari D, Lewis CP. Transcranial direct current stimulation in child and adolescent psychiatric disorders. *Child and Adolescent Psychiatric Clinics of North America*. 2019; 28(1):61-78. [DOI:10.1016/j.chc.2018.07.009] [PMID]
- [18] Garcia-Gonzalez S, Lugo-Marin J, Setien-Ramos I, Gisbert-Gustemps L, Arteaga-Henriquez G, Diez-Villoria E, et al. Transcranial direct current stimulation in Autism Spectrum Disorder: A systematic review and meta-analysis. *European Neuropsychopharmacology*. 2021; 48:89-109. [DOI:10.1016/j.euroneuro.2021.02.017] [PMID]
- [19] Narmashiri A, Akbari F. The effects of transcranial direct current stimulation (tDCS) on the cognitive functions: A systematic review and meta-analysis. *Neuropsychology Review*. 2025; 35(1):126-52. [DOI:10.1007/s11065-023-09627-x] [PMID]
- [20] Mohammadi Molod S, Vahedi S, Heysieattalab S, Soltanlou M. Meta-analysis of the effectiveness of transcranial electrical stimulation interventions on executive function and mathematical performance in children with specific learning disorder. *Quarterly Journal of Child Mental Health*. 2023; 10(3):78-99. [DOI:10.61186/jcmh.10.3.7]
- [21] 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. [DOI:10.1177/1087054717730611] [PMID]
- [22] Salehinejad MA, Nejati V, Mosayebi-Samani M, Mohammadi A, Wischniewski M, Kuo MF, et al. Transcranial direct current stimulation in ADHD: A systematic review of efficacy, safety, and protocol-induced electrical field modeling results. *Neuroscience Bulletin*. 2020; 36(10):1191-212. [DOI:10.1007/s12264-020-00501-x] [PMID]
- [23] Gallop L, Westwood SJ, Lewis Y, Campbell IC, Schmidt U. Effects of transcranial direct current stimulation in children and young people with psychiatric disorders: A systematic review. *European Child & Adolescent Psychiatry*. 2024; 33(9):3003-23. [DOI:10.1101/2022.03.17.22272541]

- [24] Yan RB, Zhang XL, Li YH, Hou JM, Chen H, Liu HL. Effect of transcranial direct-current stimulation on cognitive function in stroke patients: A systematic review and meta-analysis. *Plos One*. 2020; 15(6):e0233903. [DOI:10.1371/journal.pone.0233903] [PMID]
- [25] Lee JY, Chung JH, Kang DH, Lee JW, Moon HS, Yoo TK, et al. Quality assessment of randomized controlled trials published in the Korean journal of urology over the past 20 years. *Korean Journal of Urology*. 2011; 52(9):642-6. [DOI:10.4111/kju.2010.51.9.642] [PMID]
- [26] Shi L, Lin L. The trim-and-fill method for publication bias: Practical guidelines and recommendations based on a large database of meta-analyses. *Medicine*. 2019; 98(23):e15987. [DOI:10.1097/MD.00000000000015987] [PMID]
- [27] Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, Shamseer L, et al. The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*. 2021; 372:n71. [DOI:10.1136/bmj.n71] [PMID]
- [28] 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. [DOI:10.1038/s41598-024-64886-9] [PMID]
- [29] Sayafan N, Hajiyakhchali A, Shehniyailagh M. [The effect of transcranial direct current stimulation on attention and electroencephalographic pattern in children with attention deficit disorder (Persian)]. *Psychological Achievements*. 2023; 30(2):81-98. [DOI:10.22055/psy.2022.40786.2847]
- [30] 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 (Persian)]. *Journal of Sports and Motor Development and Learning*. 2022; 14(2):17-33. [DOI:10.22059/jmlm.2021.325671.1586]
- [31] Arshadi S, Nokani M, Asgari M, Sepahvand T. [Comparison of the effectiveness of cognitive rehabilitation of inhibitory control, electrical stimulation of the brain and the combination of inhibitory control and electrical stimulation of the brain on executive functions (behavioral inhibition and cognitive flexibility) in children with ADHD (Persian)]. *Journal of School Psychology*. 2022; 11(3):6-27. [DOI:10.22098/jsp.2022.1786]
- [32] 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. [DOI:10.30473/clpsy.2022.61224.1632]
- [33] Soleymani M, Kazemimonir N. [The effectiveness of transcranial direct current stimulation (TDCS) on increase cognitive flexibility and processing speed among children with attention deficit/hyperactivity (ADHD) (Persian)]. *Educational Psychology*. 2020; 16(57):305-26. [DOI:10.22054/jep.2020.56456.3181]
- [34] Fattahi AA, Saberi H, Kazemi Kavaki A. [The effectiveness of neurofeedback and "transcranial direct current stimulation" on the executive function of response inhibition of boys 6 to 11 years with attention deficit-hyperactivity disorder (Persian)]. *Journal of Health Promotion Management*. 2020; 9(3):49-60. [Link]
- [35] 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. [DOI:10.30473/clpsy.2019.42393.1369]
- [36] Soltaninejad Z, Nejati V, Ekhtiari H. Effect of anodal and cathodal transcranial direct current stimulation on DLPFC on modulation of inhibitory control in ADHD. *Journal of Attention Disorders*. 2019; 23(4):325-32. [DOI:10.1177/1087054715618792] [PMID]
- [37] Jazini F, Sheikh M. [Comparison of the effect of direct transcranial electrical stimulation of motor and vision cortex on working memory and motor performance in children with developmental coordination disorder (Persian)]. *The Neuroscience Journal of Shefaye Khatam*. 2022; 10(3):1-12. [DOI:10.52547/shefa.10.3.1]
- [38] Ramezani Golafzani N, Karami A, Rostami R. [The effect of transcranial direct current stimulation (tDCS) on the verbal working memory in children with mild intellectual disabilities (Persian)]. *Psychological Methods and Models*. 2021; 12(45):49-58. [DOI:10.30495/jpmm.2021.26570.3245]
- [39] Amiri MA, Esmaili SK, Saei S, Zarei MA. Effectiveness of transcranial direct current stimulation in behavioral and cognitive aspects of executive function in children with autism spectrum disorder. *Iranian Journal of Psychiatry and Behavioral Sciences*. 2022; 16(4):e124236. [DOI:10.5812/ijpbs-124236]
- [40] Fazel S, Rostamoghli Z. [The effectiveness of Transcranial direct current stimulation (tDCS) on attention and working memory in students with dyslexia (Persian)]. *Journal of Learning Disabilities*. 2023; 13(1):17-28. [DOI:10.22098/jld.2023.12856.2097]
- [41] Mehrvali F, Atash Afrouz A, Omidian M. [Comparison of the effectiveness of transcranial direct current stimulation and sensorimotor integration on executive functions) cognitive flexibility and response inhibition (of students with specific learning disabilities (Persian)]. *Journal of Learning Disabilities*. 2023; 12(4):114-99. [DOI:10.22098/jld.2023.13183.2104]
- [42] Ahmadi A, Masomi F, Mardani, LS. [The effect of transcranial magnetic stimulation of brain over selective attention and continuous function of children suffering from specific learning disability disorder (Persian)]. *Journal of Exceptional Children*. 2022; 22(2):37-44. [Link]
- [43] Moslemi B, Azmodeh M, Tabatabaei SM, Alivandi Vafa M. [The effectiveness of transcranial direct current stimulation (tDCS) on attention and visual-auditory working memory in children with dyslexia (Persian)]. *Journal of Exceptional Children*. 2021; 20(4):104-93. [Link]
- [44] Rahimi M, Heidari A, Naderi F, Makvandi B, Bakhtiyarpour S. [Comparison of cognitive training method and transcranial direct current stimulation (tDCS) on the visual attention processes in the students with special learning disorders (Persian)]. *International Journal of Behavioral Sciences*. 2019; 12(4):162-8. [Link]
- [45] Zemestani M, Izadpanah E, Solaimany S. [Comparison of the effectiveness of two methods of transcranial direct current stimulation (T-Dcs) and play therapy on attention and psycho-motor function of children with learning disabilities: A semi-experimental design (Persian)]. *Studies in Medical Sciences*. 2019; 30(3):174-86. [Link]

- [46] Bagheri M, Moradi A, Hassani AP. [Bilingualism, dyslexia, transcranial direct current stimulation (tDCS), computational cognitive rehabilitation, speed of processing, working memory (Persian)]. *Journal of Cognitive Psychology*. 2019; 6(4):25-34. [\[Link\]](#)
- [47] Rajaie Pour MS, Saeidmanesh M. The effectiveness of transcranial direct current stimulation (tDCS) from the Skull on Memory students with especially learning disorders. *Neuropsychology*. 2018; 4(13):67-84. [\[Link\]](#)
- [48] Rooholamini S, Soleymani M, Vaghef L. [Effectiveness of transcranial direct current stimulation (TDCS) on executive functions (selective attention and flexibility) in students with dyslexia (Persian)]. *Journal of Learning Disabilities*. 2018; 8(1):23-41. [\[DOI:10.22098/jld.2018.707\]](#)
- [49] Arjmandnia A, Asbaghi M, Afrooz G, Rahmanian M. [The effect of transcranial direct current stimulation (tDCS) on improving working memory performance in children with mathematical disorder (Persian)]. *Journal of Learning Disabilities*. 2016; 6(1):7-25. [\[Link\]](#)
- [50] Li S, Tang Y, Zhou Y, Ni Y. Effects of transcranial direct current stimulation on cognitive function in older adults with and without mild cognitive impairment: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Gerontology*. 2024; 70(5):544-60. [\[DOI:10.1159/000537848\]](#) [\[PMID\]](#)
- [51] Ma H, Zhao K, Jia C, You J, Zhou M, Wang T, et al. Effect of transcranial direct current stimulation for patients with disorders of consciousness: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Neuroscience*. 2023; 16:1081278. [\[DOI:10.3389/fnins.2022.1081278\]](#) [\[PMID\]](#)
- [52] Fathi Azar E, Hejazi-Shirmard M, Mirzaie H. Cognitive enhancement through technology: A review of transcranial electrical stimulation (TES) interventions in children and adolescents with specific learning disabilities. *Child*. 2024; 50(5):e13318. [\[DOI:10.1111/cch.13318\]](#) [\[PMID\]](#)
- [53] Khaleghi A, Zarafshan H, Vand SR, Mohammadi MR. Effects of non-invasive neurostimulation on autism spectrum disorder: A systematic review. *Clinical Psychopharmacology and Neuroscience*. 2020; 18(4):527-52. [\[DOI:10.9758/cpn.2020.18.4.527\]](#) [\[PMID\]](#)
- [54] Cosmo C, DiBiasi M, Lima V, Grecco LC, Muszkat M, Philip NS, et al. A systematic review of transcranial direct current stimulation effects in attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of Affective Disorders*. 2020; 276:1-13. [\[DOI:10.1016/j.jad.2020.06.054\]](#) [\[PMID\]](#)
- [55] Salehinejad MA, Wischniewski M, Nejati V, Vicario CM, Nitsche MA. Transcranial direct current stimulation in attention-deficit hyperactivity disorder: A meta-analysis of neuropsychological deficits. *Plos One*. 2019; 14(4):e0215095. [\[DOI:10.1371/journal.pone.0215095\]](#) [\[PMID\]](#)
- [56] Salehinejad MA, Ghanavati E, Glinski B, Hallajian AH, Azarkolah A. A systematic review of randomized controlled trials on efficacy and safety of transcranial direct current stimulation in major neurodevelopmental disorders: ADHD, autism, and dyslexia. *Brain and Behavior*. 2022; 12(9):e2724. [\[DOI:10.1002/brb3.2724\]](#) [\[PMID\]](#)