Journal of
Learning Disabilities

Autumn 2023. Vol 13. Issue 1

Research Paper

The effectiveness of Transcranial direct current stimulation (tDCS) on attention and working memory in students with dyslexia

Sepideh Fazel [1] & **Zahra Rostamoghli** [2*]

1. M.A in Psychology, Islamic Azad University, Beile Savar Moghan, Ardabil, Iran.
2. PhD in Psychology, Islamic Azad University, Ardabil, Iran.

Use your device to scan and read article online

Citation: Fazel, S. & Rostamoghli, Z. (2023). [The effectiveness of Transcranial direct current stimulation (tDCS) on attention and working memory in students with dyslexia (Persian)]. *Journal of Learning Disabilities*, *13*(1):17-28. https://doi.org/10.22098/jld.2023.12856.2097

10.22098/jld.2023.12856.2097

Article Info:
Received: 2023/05/29
Accepted: 2023/12/20
Available Online: 2023/12/21

Key words:
Dyslexia, Attention, Working memory, Transcranial direct current stimulation (tDCS)

ABSTRACT

Objective: The aim of the present study was to determine the effectiveness of Transcranial direct current stimulation on attention and working memory of students with dyslexia.

Methods: The method of this research was a semi-experimental type of pre-test, post-test and control group. The statistical population of the present study consisted of all dyslexic children who referred to the learning disorders center in Ardabil city in 2022. The sample of the present study was 20 people from the above statistical population who were selected by available sampling method and randomly assigned to two experimental (20: n) and control (20: n) groups. In order to collect data in the pre-test and post-test stages, the scale of the second version of continuous performance test and N-back working memory test was used. The experimental group received the tDCS protocol for 10 weeks every week, 2 sessions of 20 minutes each session, and the control group did not receive any intervention. Multivariate analysis of covariance (MANCOVA) was used to analyze the data.

Results: The results of covariance analysis showed that there is a significant difference in attention and working memory between dyslexic and normal children ($P<0.05$).

Conclusion: Considering the effectiveness of transcranial direct current stimulation, this technique may actually be a neurobiologically based, low-cost and easy treatment option with long-term effects for children and adolescents with dyslexia.

Extended Abstract

1. Introduction

Students with learning disabilities make up more than 50% of those who need special education. The most common learning disability, dyslexia or a specific difficulty in reading, negatively affects the academic life of learners (Cortiella & Horowitz, 2014). Because they experience problems at the level of phonological awareness that interfere with reading comprehension, fluency, and completing reading assignments (Fletcher, et al., 2019).

Another of these factors is the attention process. Attention is conceptualized as a limited and selective cognitive process (Mole, 2017). Attentional processing includes a set of processes that manage the flow of information through the nervous system and allocate attentional resources appropriately to relevant stimuli. Working memory is another prominent cognitive process that is investigated as a plausible cause of dyslexia in this research (Varvara, et al., 2014).

Memory, including the ability to store memories, is a primary function in brain development and the ability to reason, understand, and of course learn (Protopapas & Parilla, 2018).

***Corresponding Author:**
Zahra Rostamoghli
Address: PhD in Psychology, Islamic Azad University, Ardabil, Iran.
Tel: +98 (45) 31505653
E-mail: zr.rostamoghli@gmail.com

Recent research has shown that transcranial direct electrical stimulation of the brain can be a useful therapeutic tool to improve performance in cognitive tasks including arithmetic processing, verbal working memory, attention skills, and language reconstruction networks (Shah& et al, 2013). This method may improve reading (Thomson& et al 2015). Therefore, according to the issues raised and the research conducted on the treatment of direct transcranial electrical stimulation on executive functions and considering that so far there has been no research on the treatment of direct transcranial electrical stimulation on children with learning disorders (dyslexia). The present study was conducted with the aim of evaluating the effectiveness of transcranial direct electrical stimulation of the brain on attention and working memory of students with dyslexia.

2. Materials and Methods

The current research method was a semi-experimental design. In this research, a pre-test-post-test design with a control group was used.

The statistical population of the present study consisted of all dyslexic children who referred to the learning disorders center in Ardabil city in 2022. Using the available sampling method, 40 people (20 people in each group) were selected from among those who referred to the learning disorders center in Ardabil after reviewing their files in the center and interviewing them. Then the subjects were randomly assigned to 2 experimental and control groups. As a pre-test, the scale of the second version of continuous performance test and N-back working memory test were implemented.

3. Results

40 students with dyslexia participated in this study in two experimental and control groups, 20 each. The mean and standard deviation of the age of the experimental group are 10.55 and 1.34, respectively, and the control group are 10.30 and 1.43, respectively.

According to Table 1, the results of the multivariate analysis of covariance test show that after controlling the effects of the pre-test, there is a significant difference between the average scores of the two groups in the variables of Error providing response ($p<0.01$; $F=23.511$), omission error (0.001 $p>0$; $F=11.506$), confirmation error ($p>0.001$; $F=3.699$), correct answer ($p>0.001$; $F=7.537$) and reaction time (0.001 $>p$; $F=3.212$) ($p<0.05$)

Table 1. The results of multivariate covariance tests to compare the scores of continuous performance test variables and N-back working memory test in the post-test of two groups

Source	variable	SS	Df	MS	F	P	Effect size
Pre-test	Error providing response	9.323	1	9.323	0.118	0.08	0.05
	Omission Error	1.795	1	1.795	5.535	0.06	0.01
	Confirmation Error	3.338	1	3.338	0.652	0.425	0.01
	Correct answer (N-Back)	0.145	1	0.145	0.09	0.92	0.001
	reaction time(N-Back)	3.363	1	3.363	0.20	0.56	0.06
Group	Error providing response	27.363	1	27.363	23.511	0.001	0.42
	Omission Error	3.731	1	3.731	11.506	0.002	0.26
	Confirmation Error	19.219	1	19.219	3.699	0.05	0.10
	Correct answer (N-Back)	122.151	1	122.151	7.537	0.01	0.19
	reaction time(N-Back)	20.125	1	20.125	3.212	0.05	0.10

4. Discussion and Conclusion

The results of covariance analysis showed that direct transcranial electrical stimulation of the brain is effective in improving attention.

This finding can also be explained by the fact that electrical stimulation causes changes in the function of neurons and increases the surface sensitivity in the cortex to increase the release of dopamine. As stated by Clark&Noudoost (2014), dopamine enhances cognitive ability and visual attention processes are listed among executive and cognitive functions. As a result, this process increases learning.

The results of covariance analysis showed that direct transcranial electrical stimulation of the brain is effective in increasing working memory.

In explaining this hypothesis, it can be said that it is generally believed that direct transcranial electrical stimulation of the brain causes depolarization of the subthreshold membrane, and it has been suggested that direct transcranial electrical stimulation of the brain modulates the mechanisms of metaplasticity of the cerebral cortex, which in turn modifies the synaptic connections between neurons and since direct transcranial electrical stimulation of the brain modulates the plasticity of the cerebral cortex, the use of direct transcranial electrical stimulation of the brain has the potential to modulate learning and memory (Liebetanz& et al, 2002).

Considering the effectiveness of direct transcranial electrical stimulation of the brain, direct transcranial electrical stimulation of the brain may actually be a neurobiologically based, low-cost and easy treatment

option with long-term effects for children and adolescents with dyslexia.

5. Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

Ethical principles are fully observed in this article. Participants were allowed to withdraw from the study at any time. Also, all participants were aware of the research process.

Funding

This research has not received any funding from funding organizations in the public, commercial or non-profit sectors.

Authors' contributions

All authors have participated in the design, execution and writing of all parts of this research.

Conflicts of interest

According to the authors of this article, there is no conflict of interest.

فصلنامه پژوهشی
ناتوانی‌های یادگیری

مقاله پژوهشی

اثربخشی تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز بر توجه و حافظه‌کاری دانش‌آموزان مبتلا به نارساخوانی

سپیده فاضل [۱] و زهرا رستم اوغلی [۲*]

۱. کارشناسی ارشد روانشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، بیله سوار مغان، اردبیل، ایران.
۲. دکترای روانشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، اردبیل، ایران.

اطلاعات مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۲۸
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۹/۳۰

کلیدواژه‌ها:
نارساخوان، توجه، حافظه کاری، تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز

چکیده

هدف: هدف پژوهش حاضر تعیین اثربخشی تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز بر توجه و حافظه کاری دانش‌آموزان مبتلا به نارساخوانی بود.

روش‌ها: روش این تحقیق نیمه‌آزمایشی از نوع پیش‌آزمون و پس‌آزمون و گروه کنترل بود. جامعه آماری پژوهش حاضر تمامی کودکان نارساخوان که در سال ۱۴۰۱ به مرکز اختلالات یادگیری شهر اردبیل مراجعه کردند، تشکیل داد. نمونه پژوهش حاضر ۲۰ نفر از جامعه آماری فوق بود که به روش نمونه‌گیری در دسترس انتخاب و به صورت تصادفی در دو گروه آزمایش (n=۲۰) و گواه (n=۲۰) گمارده شدند. برای جمع‌آوری داده‌ها در دو مرحله پیش‌آزمون و پس‌آزمون از مقیاس نسخه دوم آزمون عملکرد پیوسته و آزمون حافظه کاری ان-بک استفاده شد. گروه آزمایش پروتکل تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز را طی ۱۰ هفته هر هفته ۲ جلسه هر جلسه ۲۰ دقیقه دریافت کردند و گروه کنترل هیچ مداخله‌ای دریافت نکردند. برای تجزیه تحلیل داده‌ها از آزمون تحلیل کوواریانس چند متغیره (MANCOVA) استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج تحلیل کوواریانس نشان داد که در توجه و حافظه کاری بین کودکان نارساخوان و عادی تفاوت معناداری وجود دارد ($P<۰/۰۵$).

نتیجه‌گیری: با توجه به اثربخش بودن تحریک جریان مستقیم ترانس کرانیال، این تکنیک ممکن است در واقع یک گزینه درمانی مبتنی بر نوروبیولوژیک، کم‌هزینه و آسان با اثرات طولانی‌مدت برای کودکان و نوجوانان مبتلا به نارساخوانی باشد.

مقدمه

ناتوانی یادگیری[1] به عنوان یک مشکل خاص در تسلط بر زبان اصلی، ریاضی، یا سایر مهارت‌های غیر مرتبط با هوش تعریف می‌شود (باجر و خان[2]، ۲۰۱۹) که معمولاً زمانی تشخیص داده می‌شود که کودک شروع به تحصیل می‌کند. دانش آموزان دارای ناتوانی‌های یادگیری بیش از ۵۰ درصد از کسانی را تشکیل می‌دهند که به آموزش ویژه نیاز دارند. شایع‌ترین ناتوانی یادگیری، نارساخوانی یا مشکل خاص در خواندن، بر زندگی تحصیلی فراگیران تأثیر منفی می‌گذارد (کورتیلا و هوروویتز[3]، ۲۰۱۴) زیرا آن‌ها مشکلاتی را در سطح آگاهی واج‌شناختی تجربه می‌کنند که در درک مطلب، روان‌خوانی و تکمیل تکالیف خواندن اختلال ایجاد می‌کند (فلچر[4] و همکاران، ۲۰۱۹). همچنین ۲۰ درصد از افراد نارساخوان دارای نقص توجه و ضعف در مهارت‌های حرکتی و ۵۰ درصد در تمرکز بینایی دچار نقص هستند. نارسایی در مهارت‌های حرکتی می‌تواند منجر به ضعف در استفاده از مهارت‌های روانی حرکتی برای هماهنگی مکانیسم‌های قابل قبول عضلانی شود. مشکلات در زمان‌بندی و عدم انطباق، به

1. Learning disabilities
2. Bajre & Khan
3. Cortiella & Horowitz
4. Fletcher

* **نویسنده مسئول:**
زهرا رستم اوغلی
نشانی: دکتری روانشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، اردبیل، ایران.
تلفن: ۳۱۵۰۵۶۵۳ (۴۵) ۹۸+
پست الکترونیکی: zr.rostamoghli@gmail.com

ویژه در مهارت‌های حرکتی ظریف، ارتباط نزدیکی با یادگیری خواندن دارد (رائو[1] و همکاران، ۲۰۲۱). نارساخوانی به دو دسته نارساخوانی رشدی و نارساخوانی واجی سطحی تقسیم می‌شود. نارساخوانی رشدی یک نقص عصبی است که یادگیری خواندن را برای افرادی که هیچ مشکلی با مهارت‌های شناختی و عاطفی ندارند دشوار می‌کند. نارساخوانی واج‌شناختی ناتوانی خاص در استفاده مؤثر از اطلاعات معنایی، صرفی، واجی و بصری است. افراد مبتلا به نارساخوانی واجی در تشخیص کلمات مشکل دارند. در حالی که مشکلات درک واژه‌ها و خواندن ناقص هجاها به‌عنوان خطاهای صرفی تعریف می‌شوند، ناتوانی در خواندن به دلیل کدهای کلمه غیرقابل تشخیص در هنگام مواجهه با کلمات مبهم به عنوان نقص واجی تعریف می‌شود (هولم و اسنوولینگ[2]، ۲۰۱۶). اکثر برنامه‌های اصلاحی بر تقویت مهارت‌های واج‌شناختی تمرکز دارند. به هر حال شناخته شده‌ترین عامل توضیحی برای نارساخوانی، نقص واج‌شناختی است (تورگسن[3]، ۲۰۰۵). با این حال، مشکلات واج‌شناختی تنها مقدار محدودی از علت نارساخوانی را توضیح می‌دهد، عوامل دیگری نیز در مشکلاتی که کودکان مبتلا به نارساخوانی با آن مواجه هستند نقش دارند (والدا[4] و همکاران، ۲۰۲۲).

یکی دیگر از این عامل‌ها فرایند توجه[5] است. مشکلات خواندن ممکن است تحت تأثیر عدم کنترل توجه به دلیل محدودیت‌های پردازش اطلاعات شناختی باشد. توجه به عنوان یک فرآیند شناختی محدود و انتخابی مفهوم‌سازی می‌شود (مول[6]، ۲۰۱۷). توجه یکی از مهم‌ترین فعالیت‌های عالی ذهن است و به تنهایی یکی از جنبه‌های اصلی ساختار شناختی است که در ساختار هوش، حافظه و ادراک نیز نقش مهمی دارد (احدی، ستوده و حبیبی، ۱۳۹۴). پردازش توجه شامل مجموعه‌ای از فرآیندها است که جریان اطلاعات را از طریق سیستم عصبی مدیریت می‌کند و منابع توجه را به طور مناسب به محرک‌های مربوطه اختصاص می‌دهد. به نظر می‌رسد شبکه‌های خاصی در نواحی فرونتال و جداری درگیر توجه هستند. مخچه به عنوان یک ساختار زیر قشری شناخته شده است که با نواحی قشر مغز در تعامل است و در نتیجه فرآیندهای توجه را کنترل می‌کند (مانارلی[7] و همکاران، ۲۰۱۶).

حافظه کاری[8] یکی دیگر از این فرآیندهای شناختی برجسته است که به عنوان یک علت قابل قبول نارساخوانی در این پژوهش مورد بررسی قرار می‌گیرد (واروارا[9] و همکاران ، ۲۰۱۴). حافظهٔ کاری همان جایی است که ذهن روی اطلاعات کار می کند و آن‌ها را برای ذخیره‌سازی یا دور انداختن سازمان می‌دهد و به اطلاعات دیگر مرتبط می‌سازد (امیدوار، دانا، حمزه‌سبزی و پورپناهی کل تپه، ۱۳۹۷) و در پیشرفت تحصیلی نقش کلیدی دارد (زمانی و پورآتشی، ۱۳۹۶). برای بررسی رابطه بین نارساخوانی و حافظه کاری، درک مفهوم حافظه از اهمیت حیاتی برخوردار است (پاریلا[10] و همکاران، ۲۰۲۰). حافظه، از جمله توانایی ذخیره خاطرات، یک عملکرد اولیه در رشد مغز و توانایی استدلال، درک و البته یادگیری است (پروتوپاپاس و پاریلا[11]، ۲۰۱۸). یکی از توانایی‌های شناختی سطح بالاتری است که برای بسیاری از وظایف پیچیده، از استدلال و توانایی‌های ریاضی گرفته تا خواندن و درک، مورد نیاز است (نایشن[12] و همکاران، ۱۹۹۹). همچنین به نظر می‌رسد بهترین پیش‌بینی کننده پیشرفت تحصیلی و پیشرفت خواندن در آینده در کودکانی باشد که در مدارس تحصیل می‌کنند (الووی و الووی[13]، ۲۰۱۰).

پژوهش‌های اخیر نشان داده است که تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز می‌تواند یک ابزار درمانی مفید برای بهبود عملکرد در کارهای شناختی از جمله پردازش حسابی، حافظه کار کلامی، مهارت‌های توجه و شبکه‌های بازسازی زبان باشد (شاه،[14] و همکاران، ۲۰۱۳). این روش ممکن است خواندن را بهبود بخشد (تامسون[15] و همکاران، ۲۰۱۵). شرکت‌کنندگانی که ۲۰ دقیقه از ۲ میلی‌آمپر تحریک آندی در CP6 در نیمکره راست دریافت کرده‌اند، پیشرفت در سرعت خواندن، گزارش کردند. طبق گفته هت و لاویدور[16] (۲۰۱۵)، استفاده از تحریک آنودال ۱,۵ میلی‌آمپر در منطقه thev5/MT به مدت ۲۰ دقیقه منجر به بهبود قابل توجهی در خواندن و تسلط شد. یک مطالعه کنترل شده با دارونما با بررسی تأثیر تحریک جریان مستقیم آندی ۱,۵ میلی‌آمپر آندی که به مدت ۲۰ دقیقه بین T7 و TP7 اعمال می‌شود (نیمکره سمت چپ) منجر به بهبود کارآیی خواندن کلمات شد (تورکلتوب[17] و همکاران، ۲۰۱۲). تحریک جریان مستقیم ترانس کرانیال عملکرد را در وظایف حافظه کاری افزایش می‌دهد (گلدوینو همکاران[18]، ۲۰۱۲).

1. Rao
2. Hulme &Snowling
3. Torgesen
4. Walda & et al
5. Attention process
6. Mole
7. Mannarelli
8. working memory
9. Varvara& et al
10. Parrila
11. Protopapas & Parrila
12. Nation & et al
13. Alloway & Alloway
14. Shah & et al
15. Thomson & et al
16. Heth & Lavidor
17. Turkeltaub
18. Gladwin & et al

حافظه کاری برای استدلال، تصمیم‌گیری و حل مسئله ضروری است. اخیراً تلاش‌های فزاینده‌ای برای بهبود حافظه کاری از طریق تحریک غیرتهاجمی مغز، به‌ویژه تحریک جریان مستقیم و متناوب ترانس کرانیال صورت گرفته است (سنکوفسکی[1] و همکاران، ۲۰۲۲). یکی از کاربردهای رایج این فناوری در ترکیب با آموزش حافظه کاری به منظور افزایش اثرات انتقال به سایر اقدامات شناختی پس از آموزش بوده است (پرگر[2] و همکاران، ۲۰۲۲). تحریک جریان مستقیم ترانس کرانیال قشر جلوی پیشانی پشتی جانبی چپ نشان داده است که حافظه کاری را تقویت می‌کند (کارتیکیان[3] و همکاران، ۲۰۲۱). شواهد فزاینده‌ای وجود دارد مبنی بر اینکه نتایج مربوط به تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز احتمالاً تحت تأثیر وضعیت مغزی فرد در زمان تحریک قرار می‌گیرد، به عنوان مثال، اثرات درجه‌ای از "وابستگی به حالت " را نشان می‌دهد (هیل[4] و همکاران، ۲۰۱۹). تکنیک‌های تحریک غیرتهاجمی مغز بر افزایش عملکرد حافظه کاری اثربخش می‌باشد (رازا[5] و همکاران، ۲۰۲۳). کیائو[6] و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهش خود نشان دادند که تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز با فرکانس زیر آهسته بر روی قشر جلوی پیشانی پشتی سمت چپ، توجه پایدار را افزایش می‌دهد. معزی و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهش خود نشان دادند که تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز منجر به بهبود قابل توجهی در زمان واکنش و افزایش دامنه بصری P600 شد. مارتین[7] و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهش خود نشان دادند که مونتاژ تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز یک پارامتر مهم است که درجه و شدت تحریک را در نواحی مورد نظر مغز تعیین می‌کند و عملکرد زمان واکنش حافظه کاری را تعدیل می‌کند. نتایج پژوهش آکسو[8] و همکاران (۲۰۲۳) نشان می‌دهد که تحریک جریان مستقیم ترانس کرانیال با تمرین حافظه کاری هم‌زمان، نقایص شناختی را بهبود می‌بخشد.

بنابراین با توجه به موضوعات مطرح شده و پژوهش‌های انجام شده در مورد درمان تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای بر کارکردهای اجرایی و با توجه به این‌که تاکنون پژوهشی درباره درمان تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای بر کودکان دارای اختلال یادگیری (نارساخوانی) صورت نگرفته است، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی اثربخشی تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز بر توجه و حافظه کاری دانش آموزان مبتلا به نارساخوانی انجام گرفت.

روش پژوهش

روش پژوهشی حاضر از نوع طرح‌های نیمه آزمایشی بود. در این پژوهش از طرح پیش‌آزمون _ پس‌آزمون با گروه کنترل استفاده شد.

جامعه، نمونه و روش نمونه‌گیری: جامعه آماری پژوهش حاضر تمامی کودکان نارسا خوان که در سال ۱۴۰۱ به مرکز اختلالات یادگیری شهر اردبیل مراجعه کردند، تشکیل داد. با استفاده از روش نمونه‌گیری در دسترس از بین مراجعه‌کنندگان به مرکز اختلالات یادگیری شهر اردبیل بعد از بررسی پرونده‌های آن‌ها در مرکز و مصاحبه با آن‌ها ۴۰ (۲۰ نفر در هر گروه) نفر انتخاب شد. با مراجعه به مرکز اختلالات یادگیری شهر اردبیل آزمودنی‌های مورد نظر بعد از بررسی پرونده و مصاحبه با آن‌ها انتخاب شد. سپس آزمودنی‌ها به صورت تصادفی در ۲ گروه آزمایش و کنترل گمارده شد. به عنوان پیش‌آزمون، مقیاس نسخه دوم آزمون عملکرد پیوسته و آزمون حافظه کاری ان-بک اجرا شد. به منظور جمع‌آوری داده‌ها از ابزارهای زیر استفاده شد:

تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای با جریان مستقیم (tDCS): در این پژوهش از دستگاه Neurostim2 به منظور ارائه‌ی تحریک فراجمجمه‌ای با جریان الکتریکی استفاده شد. این دستگاه دارای دو کانال کاملاً ایزوله و جدا از هم برای ارائه‌ی انواع تحریک است؛ بنابراین از این دستگاه می‌توان برای دو نوع تحریک متفاوت بر روی یک فرد و یا ارائه‌ی تحریک هم‌زمان بر روی دو فرد متفاوت استفاده کرد. این دستگاه قابلیت ارائه‌ی تحریک به صورت ساختگی[9] برای بررسی اثر پلاسیبو را نیز دارد.

آزمون حافظه کاری ان-بک: برای سنجش حافظه کاری از آزمون N- back استفاده خواهد شد. این آزمون برای نخستین بار در سال ۱۹۵۸ طراحی شده است و نسخه رایانه‌ای آن در سال ۲۰۰۸ توسط پریگ[10] و همکاران (۲۰۰۸) مورد استفاده قرار گرفت. در این آزمون تعدادی محرک بینایی به صورت پی‌درپی بر روی صفحه نمایشگر ظاهر می‌شود و آزمودنی باید در صورت تشابه هر محرک با محرک قبل کلید یک و در غیر این صورت کلید شماره دو را فشار دهد این آزمون از اعتبار قوی برخوردار است و در حال حاضر در

1. Senkowski & et al
2. Pergher
3. Karthikeyan & et al
4. Hill & et al
5. Razza
6. Qiao
7. Martin & et al
8. Aksu & et al
9. sham
10. Pergher & et al

مطالعات بالینی و تجربی مورد استفاده گسترده‌ای قرار می‌گیرد و اعتبار آن با چندین آزمون دیگر که حافظه کاری را می‌سنجد نشان داده شده است (کان[1] و همکاران، ۲۰۰۷).

نسخه دوم آزمون عملکرد پیوسته (CPT-II): این آزمون برای اولین بار در سال ۱۹۶۵ توسط رازولد[2] و همکاران (۱۹۵۶) تهیه شد و به سرعت مقبولیت عام یافت. ابتدا این آزمون برای سنجش ضایعه‌ی مغزی گرفته شد؛ اما در دهه ۱۹۹۰ به عنوان متداول‌ترین شیوه آزمایشگاهی در ارزیابی کودکان بیش‌فعال، همراه با نارسایی توجه، به کار رفت. هدف این آزمون سنجش نگهداری توجه و زود انگیختگی در این کودکان است (حسنی و هادیان فرد، ۱۳۸۶). در حقیقت آزمون عملکرد پیوسته یک آزمون واحد نیست. تاکنون گونه‌های مختلفی از آن جهت اهداف درمانی یا پژوهشی تهیه شده است. فرم فارسی آزمون که از طریق رایانه اجرا می‌شود، دارای اعداد فارسی به عنوان محرک است. از این تعداد ۳۰ محرک (۲۰ درصد) به عنوان محرک هدف می‌باشد. فاصله بین ارائه دو محرک ۵۰۰ میلی ثانیه و زمان ارائه هر محرک ۱۵۰ میلی ثانیه است. ضریب‌های اعتبار (بازآزمایی) قسمت‌های مختلف آزمون در مطالعه هادیان فرد و همکاران (۱۳۷۹) با فاصله ۲۰ روز روی ۴۳ دانش‌آموز پسر دبستانی انجام شد؛ در دامنه‌ای بین ۰/۵۹ تا ۰/۹۳ قرار دارد. تمام ضریب‌های محاسبه شده در سطح ۰/۰۰۱ همبستگی معناداری دارند. روایی آزمون با شیوه روایی سازی ملاکی از طریق مقایسه گروه بهنجار (۳۰ دانش‌آموز پسردبستانی) و بیش‌فعالی همراه با نارسایی توجه (۲۵ دانش‌آموز پسر دبستانی) انجام گرفت. مقایسه آماری میانگین دو گروه در قسمت‌های مختلف آزمون، تفاوت معناداری را بین عملکرد این دو گروه نشان داد. به آزمودنی گفته می‌شود یک عده اعداد در روی مانیتور ظاهر می‌شود و سریع ناپدید می‌شود و شما باید با مشاهده هر عددی به جز عدد ۵، سریع دکمه space را فشار دهید. در واقع این آزمون را به عنوان یک بازی به دانش‌آموز معرفی می‌کنیم تا دچار اضطراب نشود. بعد از استخراج نتایج، شاخص زمان پاسخ‌ها، خطای پاسخ حذف و خطای ارائه پاسخ بررسی می‌شود.

روش اجرا: گروه آزمایش پروتکل تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز را طی ۱۰ هفته هر هفته ۲ جلسه هر جلسه ۲۰ دقیقه دریافت کردند. گروه کنترل مداخله‌ای دریافت نکردند در انتها، پس از اتمام مداخله از هر دو گروه آزمایش و کنترل به عنوان پس‌آزمون مقیاس نسخه دوم آزمون عملکرد پیوسته (CPT-II) و آزمون حافظه کاری ان-بک اجرا شد. مداخله در گروه کنترل به این صورت انجام گرفت: در هر جلسه، به مدت ۱۰ ثانیه شدت جریان تا ۲ میلی‌آمپر افزایش می‌یافت، سپس به مدت ۳۰ ثانیه تحریک با همان شدت ادامه می‌یافت و دوباره شدت تحریک کاهش یافته و قطع می‌شد. در پژوهش حاضر برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها، از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۴ در بخش آمار توصیفی از گزارش فراوانی، میانگین و انحراف معیار و در بخش آمار استنباطی از آزمون آماری تحلیل کوواریانس چند متغیری استفاده شد.

یافته‌ها

تعداد ۴۰ دانش‌آموز مبتلا به نارساخوانی در دو گروه آزمایش و کنترل هر کدام به تعداد ۲۰ نفر در این مطالعه شرکت داشتند. میانگین و انحراف معیار سنی گروه آزمایشی به ترتیب ۱۰/۵۵ و ۱/۳۴ و گروه کنترل به ترتیب ۱۰/۳۰ و ۱/۴۳ می‌باشد.

1. Kane & et al
2. Rosvold & et al

جدول ۱. میانگین و انحراف معیار متغیرهای پژوهش در گروه‌های موردم طالعه

عضویت گروهی		آزمایش		کنترل	
	نوع آزمون	M	SD	M	SD
پیش‌آزمون	خطای ارائه پاسخ (CPT)	۱۰/۶۰	۲/۵۸	۹/۹۵	۱/۷۶
	خطای حذف (CPT)	۱۱/۳۰	۲/۹۲	۶/۳۵	۲/۴۵
	خطای تائید (CPT)	۱۱/۹۵	۳/۳۴	۶/۹۰	۲/۳۶
	پاسخ درست (N- back)	۵۵/۰۰	۷/۸۶	۳۶/۴۵	۸/۳۴
	زمان واکنش (N- back)	۶۴/۳۵	۷/۱۱	۵۳/۱۵	۱۸/۲۷
پس‌آزمون	خطای ارائه پاسخ (CPT)	۷/۴۵	۳/۱۸	۹/۳۵	۱/۹۵
	خطای حذف (CPT)	۱۰/۳۰	۲/۹۲	۶/۱۰	۲/۶۷
	خطای تائید (CPT)	۸/۴۵	۴/۳۹	۶/۲۰	۲/۳۹
	پاسخ درست (N- back)	۵۶/۶۵	۵/۹۶	۳۴/۶۰	۸/۶۹
	زمان واکنش (N- back)	۵۱/۶۵	۷/۷۰	۵۲/۷۵	۱۸/۳۵

همان‌طور جدول ۱ میانگین و انحراف معیار در آزمون عملکرد پیوسته و آزمون حافظه کاری ان-بک را در دو گروه کنترل و آزمایش نشان می‌دهد. قبل از استفاده از آزمون تحلیل کوواریانس چندمتغیری، پیش‌فرض‌های آن مورد بررسی قرار گرفت. جهت نرمال بودن توزیع داده‌ها از آزمون کولموگروف- اسمیرنف استفاده گردید. نتایج این آزمون نشان می‌دهد که توزیع نمرات متغیرهای وابسته در پیش‌آزمون- پس‌آزمون نرمال می‌باشد؛ و داده‌ها از توزیع نرمال برخوردار هستند (P>۰/۰۵). برای بررسی همگنی واریانس‌ها از آزمون لوین استفاده شد که نتایج آن نشان داد سطح معنی‌داری خطای آزمون لوین بیشتر از ۰/۰۵ است، بنابراین می‌توان گفت که واریانس‌های دو گروه در سطح جامعه برابر هستند و نیز برای بررسی فرض همگنی کوواریانس‌ها از آزمون باکس استفاده شد و نتایج نشان داد که مقدار باکس معنی‌دار نیست (P=۰/۰۶، F=۳/۹۷۳، ۶۹/۹۷= BOX).

جدول ۲. نتایج آزمون‌های معناداری تحلیل کوواریانس چند متغیری آزمون عملکرد پیوسته و آزمون حافظه کاری ان-بک در پس‌آزمون دو گروه

منابع	ارزش	F	DF فرضیه	DFخطا	معناداری	اندازه اثر
اثر پیلایی	۰/۶۲۱	۹/۴۸۵	۵	۲۹	۰/۰۰۱	۰/۶۲۱
لامبدا ویلکز	۰/۳۷۹	۹/۴۸۵	۵	۲۹	۰/۰۰۱	۰/۶۲۱
اثر هتلینگ	۱/۶۳۵	۹/۴۸۵	۵	۲۹	۰/۰۰۱	۰/۶۲۱
بزرگ‌ترین ریشه خطا	۱/۶۳۵	۹/۴۸۵	۵	۲۹	۰/۰۰۱	۰/۶۲۱

همان‌طور که جدول ۲ نشان می‌دهد سطوح معناداری تمام آزمون‌ها قابلیت استفاده از تحلیل کوواریانس چند متغیره را مجاز می‌شمارد. این نتایج نشان می‌دهد که در گروه‌های مورد مطالعه حداقل از نظر یکی از متغیرهای وابسته تفاوت معنی‌داری وجود دارد (P< ۰/۰۰۱، F= ۹/۴۸۵، ۰/۳۷۹ = لامبدای ویلکز). مجذور اتا نشان می‌دهد تفاوت بین گروه‌ها با توجه به متغیرهای وابسته در مجموع معنادار است و میزان این تفاوت بر اساس آزمون لامبدا ویلکز ۰/۶۲۱ است، یعنی ۶۲ درصد واریانس مربوط به اختلاف بین گروه‌ها ناشی از تأثیر متقابل متغیرهای وابسته می‌باشد.

جدول ۳. نتایج آزمون‌های کوواریانس چندمتغیری برای مقایسه نمرات متغیرهای آزمون عملکرد پیوسته و آزمون حافظه کاری ان-بک در پس‌آزمون دو گروه

منبع تغییرات	متغیر وابسته	SS	df	MS	F	P	Efect size
اثر پیش‌آزمون	خطای ارائه پاسخ (CPT)	۹/۳۲۳	۱	۹/۳۲۳	۰/۱۱۸	۰/۰۸	۰/۰۵
	خطای حذف (CPT)	۱/۷۹۵	۱	۱/۷۹۵	۵/۵۳۵	۰/۰۶	۰/۰۱
	خطای تائید (CPT)	۳/۳۸۸	۱	۳/۳۸۸	۰/۶۵۲	۰/۴۲۵	۰/۰۱
	پاسخ درست (ان بک)	۰/۱۴۵	۱	۱۴۵-۰	۰/۰۹	۰/۹۲	۰/۰۰۱
	زمان واکنش (ان بک)	۳/۳۶۳	۱	۳/۳۶۳	۰/۲۰	۰/۵۶	۰/۰۶
عضویت گروهی	خطای ارائه پاسخ (CPT)	۲۷/۳۹۸	۱	۲۷/۳۹۸	۲۳/۵۱۱	۰/۰۰۱	۰/۴۲
	خطای حذف (CPT)	۳/۷۳۱	۱	۳/۷۳۱	۱۱/۵۰۶	۰/۰۰۲	۰/۲۶
	خطای تائید (CPT)	۱۹/۲۱۹	۱	۱۹/۲۱۹	۳/۶۹۹	۰/۰۵	۰/۱۰
	پاسخ درست (ان بک)	۱۲۲/۱۵۱	۱	۱۲۲/۱۵۱	۷/۵۳۷	۰/۰۱	۰/۱۹
	زمان واکنش (ان بک)	۲۰/۱۲۵	۱	۲۰/۱۲۵	۳/۲۱۲	۰/۰۵	۰/۱۰

طبق جدول ۳ نتایج آزمون تحلیل کوواریانس چند متغیره نشان می‌دهد که پس از کنترل اثرات پیش‌آزمون، تفاوت معنی‌داری بین میانگین نمرات دو گروه در متغیرهای خطای ارائه پاسخ (P<۰/۰۱؛ F=۲۳/۵۱۱)، خطای حذف (F=۱۱/۵۰۶؛ P<۰/۰۰۱)، خطای تائید (P<۰/۰۰۱؛ F=۳/۶۹۹)، پاسخ درست (F=۷/۵۳۷؛ P<۰/۰۰۱) و زمان واکنش (F=۳/۲۱۲؛ P<۰/۰۰۱) وجود دارد (P< ۰/۰۵).

بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف تعیین بررسی اثربخشی تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز بر توجه و حافظه کاری دانش آموزان مبتلا به نارساخوانی صورت گرفت. نتایج تحلیل کوواریانس نشان داد که تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز بر بهبود توجه اثربخش می‌باشد.

همسو با این یافته کیائو و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهش خود نشان دادند که تحریک جریان مستقیم ترانس کرانیال با فرکانس زیر آهسته بر روی قشر جلوی پیشانی پشتی سمت چپ، توجه پایدار را افزایش می‌دهد. همچنین معزی و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهش خود نشان دادند که تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز منجر به بهبود قابل توجهی در زمان واکنش و افزایش دامنه بصری P600 شد. در تبیین این فرضیه می‌توان اظهار داشت که توجه یکی از مهم‌ترین وظایف ذهن است و به تنهایی یکی از جنبه‌های اصلی ساختار شناختی است که در ساختارهای هوش، حافظه و ادراک نقش بسزایی دارد. تائید فرآیندهای توجه بصری با استفاده از روش آموزش شناختی می‌تواند شاخص‌های خواندن، بیان نوشتاری و ریاضی و همچنین کارکردهای اجرایی کودکان با ناتوانی‌های یادگیری ویژه را بهبود بخشد (باعزت، نادری و ایزدی فرد، ۱۳۹۱). این یافته را نیز می‌توان از این طریق روشن کرد که تحریک الکتریکی باعث تغییراتی در عملکرد نورون‌ها و افزایش حساسیت سطحی در قشر برای افزایش ترشح دوپامین می‌شود. همان‌طور که کلارک و نودوست[1] (۲۰۱۴) بیان کردند، دوپامین باعث افزایش توانایی شناختی می‌شود و فرآیندهای توجه بصری در بین عملکردهای اجرایی و شناختی برشمرده می‌شود. در نتیجه این فرآیند باعث افزایش یادگیری نیز می‌شود. از سوی دیگر، تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز حساسیت نورون‌ها و پتانسیل جابجایی قشر نورون‌های سطحی را به موازات دپلاریزاسیون یا هیپرپلاریزاسیون آن‌ها تغییر می‌دهد تا شارژ بیشتر یا کمتر سلول‌های مغزی را امکان‌پذیر کند. فرآیندهای توجه بصری، از جمله عملکردهای اجرایی، با بخش‌هایی از مغز مانند قشر جلوی مغز مرتبط است و این بخش از طریق جریان ضعیفی تحریک می‌شود که در نتیجه عملکرد نورون‌های مغز کاهش یا افزایش می‌یابد. از آنجایی که مرکز تحریک جریان مستقیم ترانس کرانیال روی جمجمه تا حدودی محدود است، اثرات عملکردی آن به طور مستقیم در ناحیه محدود زیر الکترودها ظاهر می‌شود و این باعث افزایش یا کاهش عملکرد نورون‌ها می‌شود (مختاری و همکاران، ۱۳۹۶). تحریک آندال تحریکی با استفاده از تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز استاندارد در ناحیه C4، مربوط به ناحیه‌ای بین TPJ سمت راست و IPS راست و عملکرد را در تمرین توجه تقسیم شده بینایی فضایی بهبود بخشید (شلدروپ[2] و همکاران، ۲۰۱۴). در واقع، تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز می‌تواند تحریک‌پذیری قشر مغز را از طریق اعمال جریان بین دو الکترود تعدیل کند و باعث افزایش توجه شود.

نتایج تحلیل کوواریانس نشان داد که تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز برافزایش حافظه کاری اثربخش می‌باشد. همسو با این یافته شواهد فزاینده‌ای وجود دارد مبنی بر اینکه نتایج مربوط به تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز احتمالاً تحت تأثیر وضعیت مغزی فرد در زمان تحریک قرار می‌گیرد (هیل و همکاران، ۲۰۱۹)، مارتین و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهش خود نشان دادند که مونتاژ تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز یک پارامتر مهم است که درجه و شدت تحریک را در نواحی مورد نظر مغز تعیین می‌کند و عملکرد زمان واکنش حافظه کاری را تعدیل می‌کند. نتایج پژوهش آکسو و همکاران (۲۰۲۳) نیز نشان می‌دهد که تحریک جریان مستقیم ترانس کرانیال با تمرین حافظه کاری هم‌زمان، نقایص شناختی را بهبود می‌بخشد.

در تبیین این فرضیه می‌توان گفت که به طور معمول تصور می‌شود تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز باعث دپلاریزاسیون غشای زیرآستانه می‌شود و پیشنهاد شده است که تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز مکانیسم‌های متا پلاستیسیته قشر مغز را تعدیل می‌کند که به نوبه خود پیوندهای سیناپسی بین نورون‌ها را اصلاح می‌کند و از آنجایی که تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز انعطاف‌پذیری قشر مغز را تعدیل می‌کند، استفاده از تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز پتانسیل تعدیل یادگیری و حافظه را دارد (لیبتانز[3] و همکاران،۲۰۰۲). تکنیک‌های تحریک غیرتهاجمی مغز برافزایش عملکرد حافظه کاری اثربخش می‌باشد (رازا و همکاران، ۲۰۲۳). تحریک جریان مستقیم ترانس کرانیال قشر جلوی پیشانی پشتی جانبی چپ نشان داده است که حافظه کاری را تقویت می‌کند (کارتیکیان و همکاران، ۲۰۲۱). تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز اثرات خود را از طریق مدولاسیون قدرت نوسانی تتا و آلفا دارد. تحریک فعال با تتا ERS و آلفا ERD به طور قابل توجهی در مقایسه با تحریک ساختگی و به روشی که بهبودهای رفتاری را از نزدیک منعکس می‌کرد، همراه بود. اعتقاد بر این است که فعالیت تتا منعکس کننده رمزگذاری و بازیابی حافظه است. با افزایش تتا ERS همراه با بهبود عملکرد می‌باشد (زائله[4] و همکاران، ۲۰۱۱). در مقابل، فعالیت آلفا با مهار نواحی نامرتبط با تکلیف همراه است و مدولاسیون در فعالیت آلفا به عنوان تابعی‌از نیازهای توجه رخ می‌دهد (کراوز[5] و همکاران، ۲۰۰۰).

1. Clark & Noudoost
2. Scheldrup
3. Liebetanz, Nitsche, Tergau & Paulus
4. Zaehle, Sandmann, Thorne, Jäncke & Herrmann
5. Krause

نمونه‌گیری حاضر، به دانش آموزان نارساخوان مراکز ناتوانی یادگیری شهر اردبیل، محدود بود، این امرتعمیم نتایج به سایر جوامع را محدود می‌سازد. با توجه به محدود بودن زمانی، امکان بررسی در مرحله‌ی پیگیری میسر نشد؛ و این مورد یکی دیگر از محدودیت‌های پژوهش حاضر می‌باشد. پیشنهاد می‌شود برای افزایش تعمیم‌پذیری یافته‌ها از نمونه‌های دیگر نیز نمونه‌گیری گردد و در پژوهش‌های بعدی مرحله پیگیری انجام شود تا نتایج با اطمینان بیشتر قابل‌تعمیم باشد.

با توجه به اثربخش بودن تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز (TDCS)، تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز ممکن است در واقع یک گزینه درمانی مبتنی بر نوروبیولوژیک، کم‌هزینه و آسان با اثرات طولانی‌مدت برای کودکان و نوجوانان مبتلا به نارساخوانی باشد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

اصول اخلاقی تماماً در این مقاله رعایت شده است. شرکت‌کنندگان اجازه داشتند هر زمان که مایل بودند از پژوهش خارج شوند. همچنین همه شرکت‌کنندگان در جریان روند پژوهش بودند.

حامی مالی

این تحقیق هیچ‌گونه کمک مالی از سازمان‌های تأمین مالی در بخش‌های عمومی، تجاری یا غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

تمام نویسندگان در طراحی، اجرا و نگارش همه بخش‌های پژوهش حاضر مشارکت داشته‌اند.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

منابع

امیدوار، ع.، دانا، ا.، حمزه سبزی، ا و پورپناهی کل تپه. (۱۳۹۷). تأثیر آموزش براساس تربیت بدنی رشدی بر حافظه کاری دانش‌آموزان مقطع ابتدایی. *روانشناسی مدرسه و آموزشگاه*، ۷(۱)، ۸۳-۱۰۱.
http://jsp.uma.ac.ir/article_658.html

احدی، ب.، ستوده، م.ب و حبیبی، ی. (۱۳۹۱). مقایسه ی بهزیستی روان شناختی و مکانیزم های دفاعی در دانش آموزان با و بدون لکنت زبان. *روانشناسی مدرسه و آموزشگاه*، ۱(۴)، ۶-۲۲.
http://jsp.uma.ac.ir/article_46.html?lang=fa

باعزت، ف.، حبیب الله، ن و ایزدی فرد، ر. (۱۳۹۱). تأثیر آگاهی واجی بسته آموزشی کاهش غلط‌های املایی ابتدایی دانش آموزان مدرسه‌ای با اختلال نوشتن. *مجله بین‌المللی علوم رفتاری*، ۶ (۱)، ۵۵-۶۰.
https://www.behavsci.ir/article_67764.html

بیات مختاری، ل.، آقایوسفی، ع. ر.، زارع، ح و نجاتی، و. (۱۳۹۶).تأثیر تحریک مستقیم الکتریکی مغز از روی جمجمه و آموزش آگاهی واج‌شناختی بر بهبود عملکرد بعد شنیداری حافظه کاری کودکان نارساخوان. *فصلنامه کودکان استثنایی*، ۱۷ (۴)، ۴۸-۳۷.
http://joec.ir/article-1-523-en.html

حسنی، ج.، هادیانفر، ح. (۱۳۸۶). مقایسه نگهداشت توجه در بیماران مبتلا به اسکیزوفرنی، افسردگی. *مجله روان‌شناسی و علوم تربیتی*، ۳۷(۱),۱۵۹-۱۸۴.
https://jpsyedu.ut.ac.ir/article_19034.html

زمانی، ا.، پور آتشی، م. (۱۳۹۶). رابطه حافظه کاری، باورهای خودکارآمدی تحصیلی و اضطراب آزمون با پیشرفت تحصیلی دانش‌آموزان. روانشناسی مدرسه و آموزشگاه، ۶(۴)، ۲۵-۴۴.
http://jsp.uma.ac.ir/article_603.html?lang=fa

هادیان‌فرد، ح.، نجاریان، ب.، شکرکن، ح.، مهرابی زاده هنرمند، م. (۱۳۷۹) تهیه و ساخت فرم فارسی آزمون عملکرد پیوسته. *مجله روانشناسی*، ۳۸۸-۴۰۴.
https://www.sid.ir/paper/54421/fa

References

Aksu, S. Hasırcı Bayır, B. R. Sayman, C. Soyata, A. Z. Boz, G. & Karamürsel, S. (2023). Working memory ımprovement after transcranial direct current stimulation paired with working memory training ın diabetic peripheral neuropathy. *Journal of Applied Neuropsychology: Adult*, 1-14. [DOI;10.1080/23279095.2022.2164717]

Ahadi, B., Sotoudeh., MB, & Habibi, Y. (2013). Comparison of psychological well-being and defense mechanisms in students with and without stuttering. *Journal of School Psychology and institutions*, 1 (4), 22-6. http://jsp.uma.ac.ir/article_46.html?lang=en

Alloway, T. P. & Alloway, R. G. (2010). Investigating the predictive roles of working memory and IQ in academic attainment. *Journal of Experimental Child Psychology*, 106(1), 20–29. [DOI;10.1016/j.jecp.2009.11.003]

Baezzat, F., Eizadifard, R., & Naderi, H. (2012). Effect of phonological awareness training package on reduction of spelling errors of primary school students with writing disorder. *International Journal of Behavioral Sciences*, *6*(1), 55-60.

Bajre, P. & Khan, A. (2019). Developmental dyslexia in Hindi readers: Is consistent sound-symbol mapping an asset in reading? Evidence from phonological and visuospatial working memory. *Journal of Dyslexia*, *25*, 390–410. [DOI;10.1002/dys.1632]

Bayat Mokhtari, L. Agha Yousefi, A. R. Zare, H. & Nejati, V. (2018). The Impact of Transcranial Direct Current Stimulation (TDCS) and Phonological Awareness Training on the Auditory Function of Working Memory in Children with Dyslexia. *Journal of Exceptional Children*, *17*(4), 37-48. http://joec.ir/article-1-523-en.html

Clark, K.L. Noudoost, B. The role of prefrontal catecholamines in attention and working memory. *Journal of Frontiers in Neural Circuits*, 2014; 8: 33. [DOI;10.3389/fncir.2014.00033]

Cortiella, C. & Horowitz, S. H. (2014). The state of learning disabilities: Facts, trends and emerging issues. *New York: National center for learning disabilities*, *25*(3), 2-45. https://www.myschoolpsychology.com/wp-content/uploads/2014/02/2014-State-of-LD.pdf

Fletcher, J. M. Lyon, G. R. Fuchs, L. S. & Barnes, M. A. (2019). *Learning disabilities: From identification to intervention* (2nd ed). The Guilford Press

Gladwin, T. E. den Uyl, T. E. Fregni, F. F. & Wiers, R. W. (2012). Enhancement of selective attention by tDCS: interaction with interference in a Sternberg task. *Neuroscience letters*, *512*(1), 33-37. [DOI;10.1016/j.neulet.2012.01.056]

Hadianfard, H., Najarian, B., Shekarkan, H., & Mehrabizadeh honarmand, M. (2000) preparation and construction of Persian form of continuous performance test. *Journal of Psychology*, 388-404. https://www.sid.ir/paper/54421/fa

Hasni, J., & Hadianfar, H. (2007). Comparison of attention maintenance in patients with schizophrenia and depression. *Journal of Psychology and Educational Sciences*, 37(1), 159-184. https://jpsyedu.ut.ac.ir/article_19034.html

Heth, I. & Lavidor, M. (2015). Improved reading measures in adults with dyslexia following transcranial direct current stimulation treatment. *Journal of Neuropsychologia*, *70*, 107-113. [DOI;10.1016/j.neuropsychologia.2015.02.022]

Hill, A. T. Rogasch, N. C. Fitzgerald, P. B. & Hoy, K. E. (2019). Impact of concurrent task performance on transcranial direct current stimulation (tDCS)-Induced changes in cortical physiology and working memory. *Cortex*, *113*, 37-57. [DOI;10.1016/j.cortex.2018.11.022]

Hulme, C. & Snowling, M. J. (2011). Children's reading comprehension difficulties: nature, causes, and treatments. *Journal of Current Directions in Psychological Science*, *20*, 139-142. [DOI;10.1177/0963721411408673]

Kane, M. J. Conway, A. R. Miura, T. K. & Colflesh, G. J. (2007). Working memory, attention control, and the N-back task: a question of construct validity. *Journal of Experimental psychology: learning, memory, and cognition*, *33*(3), 615. [DOI;10.1037/0278-7393.33.3.615]

Karthikeyan, R. Smoot, M. R. & Mehta, R. K. (2021). Anodal tDCS augments and preserves working memory beyond time-on-task deficits. *Journal of Scientific reports*, 11(1), 19134. [DOI;10.1038/s41598-021-98636-y]

Krause, C.M. Sillanmaki, L. Koivisto, M. Saarela, C. Haggqvist, A. Laine, M.etal. (2000). Theeffectsofmemoryloadonevent-relatedEEGdesynchronization and synchronization. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 111, 2071–2078. [DOI;10.1016/s1388-2457(00)00429-6]

Liebetanz, D. Nitsche M. A. Tergau F. Paulus, W. Pharmacological approach to the mechanisms of transcranial DC-stimulation-induced after-effects of human motor cortex excitability. Brain, 2002; 125: 2238-2247. [DOI;10.1093/brain/awf238]

Mannarelli, D. Pauletti, C. De Lucia, M. C. Delle Chiaie, R. Bersani, F. S. Spagnoli, F. ... & Fattapposta, F. (2016). Effects of cerebellar transcranial direct current stimulation on attentional processing of the stimulus: evidence from an event-related potentials study. *Journal of Neuropsychologia*, *84*, 127-135. [DOI;10.1016/j.neuropsychologia.2016.02.002]

Martin, D. M. Rushby, J. A. De Blasio, F. M. Wearne, T. Osborne-Crowley, K. Francis, H. ... & McDonald, S. (2023). The effect of tDCS electrode montage on attention and working memory. *Journal of Neuropsychologia*, *179*, 108462. [DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2022.108462]

Moezzi, S. Ghoshuni, M. & Amiri, M. (2021). Transcranial direct current stimulation (tDCS) effects on attention enhancement: A preliminary event related potential (ERP) study. *Journal of Current Psychology*, 1-7. http://shefayekhatam.ir/article-1-2089-en.html

Mole, C. (2017). Attention. In E. N. Zalta (Ed.), The Stanford Encyclopedia of Philosophy. Stanford University. https://plato.stanford.edu/entries/attention/

Nation, K. Adams, J. W. Bowyer-Crane, C. A. & Snowling, M. J. (1999). Working memory deficits in poor comprehenders reflect underlying language impairments. *Journal of Experimental Child Psychology*, 73(2), 139–158. [DOI;10.1006/jecp.1999.2498]

Omidvar, A., Dana, A., Hamzeh Sabzi, A., & Pourpanahi Koltapeh, M. (2018). The effect of education based on growth physical education on working memory of elementary school students. *Journal of Psychology and institutions*, 7(1), 83-101. http://jsp.uma.ac.ir/article_658.html?lang=en

Parrila, R. Dudley, D. Song, S. & Georgiou, G. (2020). A meta-analysis of reading-level match dyslexia studies in consistent alphabetic orthographies. *Journal of Annals of Dyslexia, 70*, 1–26. [DOI;10.1007/s11881-019-00187-5]

Pergher, V. Au, J. Shalchy, M. A. Santarnecchi, E. Seitz, A. Jaeggi, S. M. & Battelli, L. (2022). The benefits of simultaneous tDCS and working memory training on transfer outcomes: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Brain Stimulation*. [DOI;10.1016/j.brs.2022.11.008]

Protopapas, A. & Parrila, R. (2018). Is dyslexia a brain disorder? *Brain Sciences*, *8*(4), 61. [DOI;10.3390/brainsci8040061.]

Qiao, J. Li, X. Wang, Y. Wang, Y. Li, G. Lu, P. & Wang, S. (2022). The infraslow frequency oscillatory transcranial direct current stimulation over the left dorsolateral prefrontal cortex enhances sustained attention. *Journal of Frontiers in Aging Neuroscience*, *14*. [DOI;10.3389/fnagi.2022.879006]

Rao, C. Sumathi, T. A. & Midha, R. et al. (2021). Development and standardization of the DALI-DAB (dyslexia assessment for languages of India – dyslexia assessment battery). *Ann. of Dyslexia*. [DOI:10.1007/s11881-021- 00227-z]

Razza, L. B. Luethi, M. S. Zanão, T. De Smet, S. Buchpiguel, C. Busatto, G. ... & Brunoni, A. R. (2023). Transcranial direct current stimulation versus intermittent theta-burst stimulation for the improvement of working memory performance. *International Journal of Clinical and Health Psychology*, *23*(1), 100334. [DOI;10.1016/j.ijchp.2022.100334]

Rosvold, H. E. Mirsky, A. F. Sarason, I. Bransome, E. D. Jr. & Beck, L. H. (1956). A continuous performance test of brain damage. *Journal of Consulting Psychology*, *20*(5), 343–350. [DOI;10.1037/h0043220]

Scheldrup, M. Greenwood, P. M. McKendrick, R. Strohl, J. Bikson, M. Alam, M. et al. (2014). Transcranial direct current stimulation facilitates cognitive multitask performance differentially depending on anode location and subtask. Front. *Journal of Human Neurosci*. 8, 665. [DOI: 10.3389/fnhum.2014.00665]

Senkowski, D. Sobirey, R. Haslacher, D. & Soekadar, S. R. (2022). Boosting working memory: uncovering the differential effects of tDCS and tACS. *Journal of Cerebral Cortex Communications*, *3*(2), tgac018. [DOI;10.1093/texcom/tgac018]

Shah, P. P. Szaflarski, J. P. Allendorfer, J. & Hamilton, R. H. (2013). Induction of neuroplasticity and recovery in post-stroke aphasia by non-invasive brain stimulation. *Journal of Frontiers in human neuroscience*, *7*, 888. [DOI;10.3389/fnhum.2013.00888]

Thomson, J. M. Doruk, D. Mascio, B. Fregni, F. & Cerruti, C. (2015). Transcranial direct current stimulation modulates efficiency of reading processes. *Journal of Frontiers in human neuroscience*, *9*, 114. [DOI;10.3389/fnhum.2015.00114]

Torgesen, J. K. (2005). Recent discoveries from research on remedial interventions for children with dyslexia. In M. J. Snowling & C. Hulme (Eds.), The science of reading: A handbook (pp. 521–537). Guilford Press. https://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkposzje))/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2469887

Turkeltaub, P. E. Benson, J. Hamilton, R. H. Datta, A. Bikson, M. & Coslett, H. B. (2012). Left lateralizing transcranial direct current stimulation improves reading efficiency. *Journal of Brain stimulation*, *5*(3), 201-207. [DOI;10.1016/j.brs.2011.04.002]

Varvara, P. Varuzza, C. Sorrentino, A. C. P. Vicari, S. & Menghini, D. (2014). Executive functions in developmental dyslexia. *Journal of Frontiers in Human Neuroscience*, 8(120), 1–8. [DOI;10.3389/fnhum.2014.00120]

Walda, S. van Weerdenburg, M. van der Ven, A. & Bosman, A. (2022). Literacy progress in children with dyslexia and the role of attention. *Journal of Reading & Writing Quarterly*, *38*(1), 19-32. [DOI;10.1080/10573569.2021.1897910]

Zamani. A., & Pouratashi, M. (2017). The relationship between academic performance and working memory, self-efficacy belief, and test anxiety. *Journal of School Psychology*, 6(4), 25-44. http://jsp.uma.ac.ir/article_603.html

Zaehle, T. Sandmann, P. Thorne, J. D. Jäncke, L. & Herrmann, C. S. (2011). Transcranial direct current stimulation of the prefrontal cortex modulates working memory performance: combined behavioural and electrophysiological evidence. *Journal of BMC neuroscience*, 12, 1-11. [DOI;10.1186/1471-2202-12-2]