The Effects of Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) on Working Memory in Healthy Young Adults

Nima Ganji [1], Roza Rashedi[2], Negar Karimi[* 3], Parvaneh Farhadbeigi[1,4], Ali Akbar Soleimani[5], Azam Noferesti[6], Mohammad Hossein Abdollahi[7], Fatemeh Moin Al-Ghorabaei[8]

1 Associate Professor, Academic Center for Education, Culture and Research, Tehran, Iran
2 Center for Education, Culture and Research, Tehran, Iran
3 Research instructor, Cognitive Science Research Group, Academic Center for Education, Culture and Research, Alborz branch, Alborz, Iran
4 PhD candidate in Cognitive Psychology, Institute for Cognitive Sciences Studies
5 Assistant Professor, Psychology Group, Department of Psychology, University of Science and Culture, Tehran, Iran
6 Assistant Professor, Psychology Group, Department of Psychology and Educational Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran
7 Associate Professor, Psychology Group, Department of Psychology and Educational Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran
8 PhD candidate in Health Psychology, Academic Center for Education, Culture and Research, Tehran, Iran

Abstract

Introduction: Working memory is one of the fundamental cognitive ability that helps us perform complex mental processes but has limited capacity. Scientists are looking for ways to increase working memory capacity. Numerous studies have shown the effect of direct transcranial stimulation (tDCS) on various aspects of performance. The aim of this study was to evaluate the effectiveness of transcranial direct current stimulation on working memory function in healthy individuals.

Methods: In this study, the effect of three-session of anodal tDCS stimulation period with an intensity of 2 mA in the lateral posterior anterior cortex on the working memory function of healthy individuals in two experimental and control random groups was investigated using N-Beck test.

Results: The results showed that the subjects in the experimental group after three sessions of direct transcranial stimulation, presented a higher number of correct answers (p= 0.00) in less response time (p=0.00) in n-back task compare to their performance before the tDCS sessions. Subjects didn't show significant difference through the same analysis which was performed in the control group.

Conclusion: According to the n-back task results, before and after tDCS 3-session intervention, anodal transcranial stimulation on dorsal-lateral prefrontal cortex (DLPFC) improves the performance of healthy subjects in the experimental group and tDCS neuromodulation could be an alternative way to improve cognition abilities like working memory among of healthy people.

Received, april 13. 2020
Accepted,july 21.2020

Key words:
working memory, Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS), dorsal-lateral prefrontal cortex (DLPFC)

*Corresponding Author: n.karimi@acecr.ac.ir
Address: No. 81-83, Corner of East Khosravi, South Nedaye St., Mehran Sq., Azimieh, Karaj, Alborz Province Phone: 02122439865
ORCID Code: 0000-0001-8223-019x

اثربخشی تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای (tDCS) بر عملکرد حافظه کاری در افراد سالم

نیما گنجی[۱]، رزا راشدی[۲]، نگار کریمی[۳*]، پروانه فرهادبیگی[۱،۴]، علی‌اکبر سلیمانی[۵]، اعظم نوفرستی[۶]، محمدحسین عبدالهی[۷]، فاطمه معین‌الغربایی[۸]

۱ استادیار پژوهش،گروه سلامت روان، جهاد دانشگاهی علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
۲ جهاد دانشگاهی علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
۳ مربی پژوهش، گروه پژوهشی علوم شناختی، جهاد دانشگاهی واحد استان البرز، البرز، ایران
۴ دانشجوی دکتری روانشناسی شناختی، موسسه آموزش عالی علوم شناختی، تهران، ایران
۵ استادیار، گروه روانشناسی، دانشکده روان‌شناسی، دانشگاه علم و فرهنگ، تهران، ایران
۶ استادیار، گروه روانشناسی، دانشکده علوم تربیتی و روان‌شناسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۷ دانشیار، گروه روانشناسی، دانشکده روانشناسی و علوم تربیتی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
۸ دانشجوی دکتری روانشناسی سلامت، گروه سلامت روان، جهاد دانشگاهی علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

چکیده

مقدمه: حافظه کاری یکی از توانمندی‌های شناختی بنیادین است که ما را در انجام پردازش‌های ذهنی پیچیده یاری می‌کند اما دارای ظرفیت محدودی است. دانشمندان در پی راه‌کارهایی جهت بالابردن ظرفیت حافظه کاری هستند. مطالعات فراوانی تأثیر تحریک مستقیم فراجمجمه‌ای (tDCS) را بر جنبه‌های مختلف عملکرد نشان داده است. هدف از این پژوهش بررسی اثربخشی تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای بر عملکرد حافظه کاری در افراد سالم است.

روش: در این مطالعه به‌طور مشخص تأثیر دوره تحریک سه جلسه‌ای tDCS آندی با شدت ۲ میلی‌آمپر در ناحیه قشر پیش‌پیشانی خلفی جانبی بر روی عملکرد حافظه کاری افراد سالم در دو گروه تصادفی آزمایشی و گواه با استفاده از آزمون n-back موردبررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج حاکی از آن بود که آزمودنی‌ها پس از سه جلسه تحریک مستقیم فراجمجمه‌ای، نسبت به قبل از مداخله تعداد پاسخ‌های درست‌تری (P=۰/۰۰) را در زمان کمتر (P=۰/۰۰) در آزمون n-back ارائه دادند. آزمودنی ها در گروه گواه که تحریک شم را دریافت کردند، تفاوت معناداری در نتایج نشان ندادند.

نتیجه‌گیری: معناداری نتایج در آزمون n-back قبل و بعد از مداخله tDCS، نشان می‌دهد تحریک فراجمجمه‌ای آندی بر روی قشر پیش‌پیشانی خلفی‌جانبی موجب بهبود عملکرد حافظه کاری در آزمودنی‌های سالم می‌گردد.

دریافت: ۲۵ فروردین ۹۹
پذیرش: ۳۱ تیر ۹۹

واژه‌های کلیدی:
حافظه کاری، تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه ای (tDCS)، قشر پیش‌پیشانی خلفی‌جانبی (DLPFC)

مقدمه

حافظه کاری یک سامانه شناختی است که نقش بسیار مهمی در جنبه‌های گوناگون زندگی بازی می‌کند و این امکان را به فرد می‌دهد که مجموعه‌ای از بازنمایی‌های ذهنی را برای انجام محاسبات پیچیده مانند حل‌مسائل تحلیلی و فراگیری زبان در لحظه بکار برد (۱). نظریه Baddeley بیان می‌دارد که حافظه کاری از یک مجری اصلی و چند نظام جانبی تشکیل‌شده است که در ساختاردهی و هماهنگ‌سازی کارکردهای مختلف شناختی درگیر هستند (۲). به دنبال مفهوم‌سازی شناختی از حافظه کاری که بیش از چهار دهه پیش توسعه‌یافته است، مطالعات بسیاری با استفاده از روش‌های مختلف تصویربرداری مغزی به دنبال یافتن همبسته‌های عصبی مرتبط با حافظه است (۳). بسیاری از مطالعات به نقش شبکه پیشانی-آهیانه[1]

1 fronto-parietal network

*نویسنده مسئول: n.karimi@acecr.ac.ir
آدرس: استان البرز، کرج، عظیمیه، میدان مهران، خیابان ندای جنوبی، نبش خسروی شرقی، پلاک ۸۱ - ۸۳. تلفن ثابت: ۰۲۱۲۲۴۳۹۸۶۵
ORCID: ۰۰۰۰-۰۰۰۱-۸۲۲۳-۰۱۹x کد

که شامل قشر پیش‌پیشانی جانبی-خلفی[1](DLPFC)، قشرکمربندی قدام (ACC)[2] و قشر آهیانه[3] به‌عنوان هم‌بسته‌های عصبی مرتبط با حافظه کاری اشاره‌کرده‌اند (۳،۴،۵،۶). به‌صورت دقیق‌تر، قشر پیش‌پیشانی جانبی خلفی (DLPFC) تا حد زیادی در کارهایی که نیاز به کنترل اجرایی دارند مانند ادغام اطلاعات برای تصمیم‌گیری (۶،۷)، نگهداری و دستکاری-بازیابی اطلاعات ذخیره‌شده (۱۰، ۹، ۸، ۳) و به‌روزرسانی اطلاعات (۱۱) نقش دارد. ظرفیت حافظه کاری محدود است (۱۲،۱۳) به این معنا که در هر زمان معین، می‌تواند اطلاعات مشخصی را پردازش کند. لذا منابع شناختی با یکدیگر در رقابت هستند و به همین دلیل تعداد و نوع کارهایی که می‌توانیم به‌صورت هم‌زمان انجام دهیم محدود است (۱۴،۱۵). با توجه به نقش و جایگاه حافظه کاری به‌عنوان یکی از توانمندی‌های اساسی و ضروری برای تفکر پیچیده و با در نظر گرفتن ظرفیت محدود آن، روش‌های مؤثر اعمال مداخله به‌عنوان یکی از ابزار بالقوه جهت بهبود توانایی‌های شناختی حافظه کاری اهمیت بسزایی دارد. یکی از روش‌های مداخله‌ای جدید تحریک مستقیم جریان فراجمجمه است. تحریک مستقیم جریان فراجمجمه‌ای[4] (tDCS) با انتقال جریان الکتریکی ضعیف به مغز، پتانسیل لازم برای تعدیل تحریک‌پذیری و فعالیت قشر مغزی را ایجاد می‌کند (۱۶،۱۷،۱۸) و به‌عنوان یک روش احتمالی برای ارتقاء حافظه کاری (۱۹،۲۰،۲۱،۲۲)، توجه پایدار[5] (۲۳)، یادگیری حرکتی (۲۴) و انجام فعالیت‌های چندگانه (۲۵،۲۶،۲۳) در نظر گرفته می‌شود. تعداد قابل‌توجهی از مطالعات تک جلسه‌ای با استفاده از tDCS، مزایای بالقوه این روش در بهبود عملکرد آزمودنی‌ها در آزمون‌های مرتبط با حافظه کاری را نشان داده است. دریکی از مطالعات قابل‌توجه که توسط Fregni و همکاران (۲۰۰۵) انجام گردید (۲۷)، تحریک مستقیم فراجمجمه‌ای آندی[6] بر قشر پیش‌پیشانی خلفی-جانبی نیمکره چپ (DLPFC)، افزایش دقت پاسخگویی[7] را در آزمونی که هم‌زمان با تحریک مغزی انجام می گرفت، افزایش داد. با این‌وجود، هیچ تأثیری با تحریک آندی بر روی موتور حرکتی اولیه و تحریک کاتدی بر قشر پیش پیشانی خلفی-جانبی سمت چپ مشاهده نگردید. این یافته‌ها نشان می‌دهد که اثر ارتقاء عملکرد حافظه کاری به قطبیت تحریک و محل دقیق تحریک بستگی دارد (۲۷). بسیاری از مطالعات بعدی، عواملی مانند محل قرارگیری الکترود، شدت‌جریان و مدت‌زمان تحریک را که ممکن است بر اثربخشی tDCS تأثیر بگذارد، مقایسه کرده و دریافتند که تحریک آندال قشر پیش‌پیشانی چپ، عملکرد حافظه کاری را افزایش می‌دهد (۲۸، ۱۷،۲۲، ۱۸، ۱، ۲۹، ۳۱، ۳۲،۳۰). همچنین مطالعات با استفاده از نوار مغز[8] (EEG) و طیف‌سنجی مادون‌قرمز[9](fNIRS) نیز نشان می‌دهند که tDCS می‌تواند فعالیت مغز را تغییر دهد (۳۳،۳۴،۳۵،۳۶،۳۷). باوجود تمامی این شواهد مثبت، امروزه در زمینه تأثیر tDCS بر روی کارکردهای شناختی انسان در گروه سالم و با اختلالات روان‌پزشکی بحث و اختلاف‌نظر وجود دارد. Hill و همکاران (۲۰۱۶) مطالعات ساختاریافته‌ای را بر روی پژوهش‌های تک جلسه‌ای و چند جلسه‌ای در زمینه تأثیر تحریک آندی tDCS بر روی حافظه کاری انجام دادند (۳۰). نتایج پژوهش حاکی از آن بود که تحریک آندیtDCS می‌تواند عملکرد حافظه کاری را مدت کوتاهی پس از پایان یافتن تحریک در گروه افراد سالم و به‌صورت آنلاین در افراد دچار اختلالات روان‌پزشکی ارتقاء دهد. با این‌وجود مطالعه‌ای دیگر هیچ‌گونه مدرکی را مبنی بر تأثیر تحریک مغزی تک جلسه‌ای بر روی افراد سالم در زمینه کارکردهای اجرایی[10]، زبان و حافظه ارائه نداد (۳۸). یکی دیگر از پژوهش‌های فراتحلیلی در زمینه اثر tDCS بر روی حافظه کاری جمعیت سالم حاکی از آن بود که در صورت اصلاح سوگیری‌های نتایج، تحریک قشر خلفی جانبی سمت چپ به‌تنهایی تأثیری بر حافظه کاری ندارد مگر این‌که با تمرینات حافظه کاری همراه باشد (۳۹). جمع‌بندی این پژوهش‌ها نشان می‌دهد که اثر tDCS بر روی حافظه کاری افراد سالم تا حدودی نامشخص است. همان‌گونه که Medina و Cason اشاره کردند، پارامترهای تحریک (مانند مکان تحریک، مدت‌زمان، قطبیت، میزان جریان و سایر عوامل) در مطالعات مختلف متفاوت است که می‌تواند بر روی نتایج تأثیرگذار باشد. تفاوت‌های فردی قابل‌ملاحظه همچون سطح تحصیلات و عوامل ژنتیکی و محیطی نیز در این زمینه تأثیرگذار است که به آن‌ها توجه کافی نشده است (۳۸، ۲۹، ۳۰، ۴۰، ۴۱، ۴۲). یکی دیگر از موضوعاتی که باید بدان توجه شود این است که بررسی‌های انجام‌گرفته اغلب بر روی مطالعاتی متمرکزشده است که نقشtDCS را در پروتکل‌های تک جلسه‌ای در نظر گرفته‌اند و تحقیقات بر روی تحریک مغزی چند جلسه‌ای کمتر بوده است (۴۳). با توجه به این‌که نتایج تحقیقات در زمینه تأثیر تحریک مستقیم جریان فراجمجمه‌ای چند جلسه‌ای بر روی حافظه کاری متناقض بوده و تاکنون پژوهش‌های کمی بر روی افراد غیر بیمار انجام‌گرفته است، در این زمینه خلأ پژوهشی به چشم می‌خورد که پاسخ به آن

1 dorsolateral prefrontal cortex
2 anterior cingulate cortex
3 parietal cortex
4 Transcranial Direct Current Stimulation
5 Sustained attention
6 anodal tDCS
7 response accuracy
8 Electroencephalography
9 near-infrared spectroscopy
10 executive function

امکان دستیابی به پروتکل‌های جدید در حیطه توان‌بخشی شناختی را فراهم آورده و زمینه‌ساز تحقیقات آتی در جهت ارتقا عملکرد حافظه کاری می‌گردد. لذا هدف از پژوهش حاضر پاسخ به این سؤال است که آیا تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای تأثیری بر حافظه کاری افراد سالم دارد؟

روش کار

مطالعه حاضر از نوع طرح های آزمایشی بود که پژوهشگر می‌توانست آزمودنی‌ها را به‌طور تصادفی به گروه‌های آزمایشی و گواه منتسب کرده و تأثیر متغیر مستقل را بر متغیر وابسته بررسی کند. لازم به ذکر است طرح پژوهشی حاضر در کمیته اخلاق پژوهش‌های زیست پزشکی ابن‌سینا مورد تائید قرارگرفته است. جامعه موردمطالعه شامل تمامی دانشجویان زن و مرد شهر تهران و روش نمونه گیری در دسترس بود. بدین صورت که افراد از طریق فراخوان داوطلب شده و سپس جهت بررسی معیارهای ورود داوطلبان، مورد ارزیابی قرار می گرفتند. ملاک های ورود شامل موارد زیر است: راست دست و بهنجار باشند، سابقه اختلالات روانی، صرع، یا دیگر اختلالات عصب شناختی را نداشته باشند و قطعات پیوندی فلزی در بدن وجود نداشته باشد. از مجموع افراد داوطلب، حجم نمونه ای با تعداد ۴۰ نفر انتخاب گردید. به‌تمامی افراد کارتی با شماره ای یکتا جهت شرکت در قرعه‌کشی و گمارش تصادفی در یکی از گروه‌های آزمایش یا کنترل داده شد. هریک از گروه‌های آزمودنی و گواه شامل ۲۰ آزمودنی بود که میانگین سنی گروه آزمایش (با فراوانی ۱۳ مرد و ۷ زن) برابر با ۲۴/۷ سال و میانگین سنی گروه گواه (با فراوانی ۱۲ مرد و ۸ زن) برابر با ۲۵/۲ سال بود. در هر دو گروه آزمودنی‌ها یک‌بار قبل از شروع مداخله و یک‌بار نیز در پایان مداخله توسط آزمونگری که نسبت به گمارش آزمودنی‌ها کاملاً بی‌اطلاع بود موردسنجش قرار گرفتند. به عبارتی طرح آزمایشی به‌صورت دوسرکور[1] انجام گرفت. آزمون در محیط آزمایشگاهی با کنترل متغیرهایی مانند دما، نور و صدا در تمام جلسات اجرا گردید. در طی آزمون، ابتدا عملکرد دستگاه tDCS و روند آزمایش به آزمودنی‌ها توضیح داده شد و برگه رضایت‌نامه‌ای با ذکر تأثیرات جانبی احتمالی آزمون به امضاء آزمودنی‌ها رسید. سپس تمامی آزمودنی ها پیش از شروع مداخله تحریک مغزی و پس از سه جلسه مداخله تحریک مغزی با آزمون n-back موردسنجش قرار گرفتند.

تکلیف حافظه کاری ان بک (n-back)، یک تکلیف سنجش عملکرد شناختی مرتبط با کارکردهای اجرایی است و نخستین بار در سال ۱۹۵۸ معرفی شد. ازآنجاکه این تکلیف هم شامل نگهداری اطلاعات شناختی و هم دست‌کاری آن‌ها می گردد، برای سنجش عملکرد حافظه کاری بسیار مناسب است. در این برنامه کامپیوتری به‌طورمعمول مربعی آبی در یک جدول ۸ خانه به‌صورت تصادفی چند ثانیه روشن می‌ماند و هم‌زمان با آن‌یک حرف از حروف الفبای صوتی پخش می‌شود. تکلیف آزمودنی این است که هر زمان هدف تصویری قبلی را مشاهده کرده کلید «A» و در صورت شنیدن هدف شنیداری قبلی کلید «L» و در صورت دیدن و شنیدن هدف‌های قبلی به‌طور هم‌زمان هر دو کلید مذکور را فشار دهد. درصورتی‌که آزمودنی ۹۰ درصد اهداف را به‌درستی به یاد آورد، نرم‌افزار به‌صورت خودکار سطح دشواری تکالیف را بالا می‌برد. به این صورت که آزمودنی موظف است ۱، ۲، ۳ الی ۱۲ محرک شنیداری و دیداری را به خاطر بسپارد. درصورتی‌که آزمودنی به کمتر از ۵۰ درصد اهداف پاسخ درست دهد، این بار به‌صورت خودکار به مرحله قبل بازگردانده می‌شود. حرف n در n-back نشان‌دهنده این است که آزمودنی چند مرحله قبل را باید به یاد داشته باشد تا درباره یکی بودن مکان یا صدا تصمیم‌گیری کند و پاسخ دهد. در حال حاضر، این آزمون در مطالعات بالینی و تجربی استفاده گسترده‌ای دارد و ضرایب اعتبار آن در دامنه‌ای بین ۰/۵۴ تا ۰/۸۴ قرار می‌گیرد (۴۴). این آزمون در ایران نیز اعتباریابی شده است (۴۵). دو متغیر وابسته به این آزمون شامل میزان پاسخ‌های صحیح[2] و مدت‌زمان واکنش[3] پاسخ صحیح ثبت می‌گردد.

در این پژوهش مداخله شامل تحریک مغزی فراجمجمه ای (tDCS)، روشی است که اخیراً برای تحریک نواحی مختلف مغز، از طریق ایجاد جریانات مستقیم خفیف در سرتاسر جمجمه به‌کاربرده می‌شود و بسته به قطبیت تحریک، می‌تواند موجب افزایش یا کاهش تحریک‌پذیری آن نواحی در مغز شود. tDCS به محققان اجازه می‌دهد تا به‌طور هدفمند تحریک‌پذیری را در نواحی کانونی از مغز افزایش یا کاهش دهند (۴۶). دستگاه tDCS مورداستفاده در این پژوهش ActiveDose ساخت شرکت AciveTek آمریکا بود که از باتری ۹ ولتی منبع جریان استفاده می‌کند و قادر است حداکثر جریان ۴ میلی‌آمپری DC را از طریق اتصال الکترودهایی با قطبیت متفاوت (آند و کاتد) القاء کند. در این مطالعه دو نوع جریان (واقعی و ساختگی) به آزمودنی‌ها در گروه آزمایش و کنترل القاء شد. الکترود آندی در قشر خلفی‌جانبی پیش‌پیشانی DLPFC

1 double blinded

2 Correct answer
3 Reaction time

نیم‌کره چپ مغز جایگذاری گردید و الکترود کاتد در بالای قشر حدقه‌ای در طرف مقابل قرار گرفت. در گروه آزمایش، آزمودنی‌ها به مدت ۲۰ دقیقه جریانی به‌شدت ۲ میلی‌آمپر در سه جلسه بافاصله حداقلی ۲۴ ساعته دریافت کردند. در گروه شم یا ساختگی آزمودنی‌ها در شرایط کاملاً یکسانی در مقایسه با گروه آزمایش قرار گرفتند حتی در مورد مکان الکترودها، با این تفاوت که درحالی‌که در ابتدا مولد جریان را به ۲ میلی‌آمپر رسانده و به‌تدریج در طول مدت ۳۰ ثانیه جریان به صفر رسیده و دستگاه خاموش می‌گردید؛ اما الکترودها به مدت ۲۰ دقیقه روی سر آزمودنی قرار داشت و وی از خاموش بودن دستگاه اطلاعی نداشت. پس از پایان جلسه مداخله از تمامی آزمودنی‌ها برای بار دوم آزمون n-back گرفته شد. تجزیه‌وتحلیل با استفاده از تحلیل تک متغیره کوواریانس و از طریق نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۳ انجام گرفت.

یافته‌ها

ویژگی‌های فردی مانند جنسیت و وضعیت تأهل آزمودنی‌ها در دو گروه آزمایش و کنترل را در جدول زیر مشاهده می‌کنید. تعداد شرکت‌کنندگان مرد در هر دو گروه به نسبت یکسانی بیشتر از شرکت‌کنندگان زن است. همچنین آزمودنی‌های مجرد در گروه آزمایش و کنترل به نسبت تقریباً یکسانی در دو گروه نسبت به افراد متأهل بیشتر هستند و تفاوت معناداری در ویژگی‌های جنسیت (P =۰/۷۴۴) و وضعیت تأهل (P =۰/۴۶۵) در دو گروه مشاهده نگردید

جدول ۱. فراوانی جنسیت و وضعیت تأهل در دو گروه آزمایش و کنترل

فراوانی درصد			گروه آزمایش		گروه کنترل	
			فراوانی	درصد	p	
جنسیت	مرد	۱۳	۶۵	۱۲	۶۰	۰/۷۴۴
	زن	۷	۳۵	۸	۴۰	
وضعیت تأهل	مجرد	۱۶	۸۰	۱۴	۷۰	۰/۴۶۵
	متأهل	۴	۲۰	۶	۳۰	

با در نظر گرفتن نمرات آزمون n-back پیش از مداخله tDCS به‌عنوان کوواریانس و مقایسه نمرات آزمون n-back پس از مداخله بین گروه آزمایش و گروه کنترل آنالیز کوواریانس اجرا شد. نتایج آنالیز نشان داد که در سطح اطمینان ۹۵٪، تحریک جریان مستقیم فرا جمجمه‌ای بر حافظه کاری تأثیر معناداری دارد (P/۰۰=). در جدول ۲ ملاحظه می‌شود که میانگین نمرات آزمون n-back قبل از تحریک برابر با ۱۰۵/۳۰ بوده که این میزان بعد از تحریک به (۱۰۹/۱۵) افزایش‌یافته است. همچنین میانگین نمرات آزمون n-back در گروه گواه قبل (میانگین=۱۰۵/۵۰) و بعد از تحریک (میانگین= ۱۰۵/۷۰) تفاوت چندانی نداشته است.

جدول ۲. اطلاعات توصیفی نمره آزمون n-back قبل و بعد از تحریک در دو گروه آزمون و گواه

گروه	مرحله	تعداد	میانگین	انحراف معیار	کمترین	بیشترین
آزمون	قبل	۲۰	۱۰۵/۳۰	۶/۷۷	۹۳	۱۱۸
	بعد	۲۰	۱۰۹/۱۵	۴/۷۴	۱۰۰	۱۱۷
گواه	قبل	۲۰	۱۰۵/۵۰	۳/۰۳	۱۰۱	۱۱۱
	بعد	۲۰	۱۰۵/۷۰	۳/۴۰	۹۸	۱۱۲

مدت‌زمان آزمون n–back

با در نظر گرفتن مدت‌زمان آزمون n-back پیش از مداخله tDCS به‌عنوان کوواریانس و مقایسه مدت‌زمان آزمون n-back پس از مداخله بین گروه آزمایش و گروه کنترل آنالیز کوواریانس اجرا شد. نتایج آنالیز نشان داد که در سطح اطمینان ۹۵٪، تحریک جریان مستقیم فراجمجمه ای بر مدت‌زمان آزمون n-back تأثیر معناداری دارد (P/۰۰=). با توجه به جدول ۳ ملاحظه می‌شود که میانگین مدت‌زمان آزمون n-back قبل از تحریک برابر با ۶۲۳/۴۰ ثانیه بوده که این میزان بعد از تحریک به ۶۰۴/۱۵ ثانیه کاهش‌یافته است. همچنین در این جدول ملاحظه می‌شود که میانگین مدت‌زمان آزمون n-back در گروه گواه قبل (میانگین= ۶۲۷/۰۵) و بعد از تحریک (میانگین= ۶۲۳/۴۰) تفاوت چندانی نداشته است.

جدول ۳ اطلاعات توصیفی مدت‌زمان آزمون n-back قبل و بعد از تحریک در دو گروه آزمون و گواه

گروه	مرحله	تعداد	میانگین	انحراف معیار	کمترین	بیشترین
آزمون	قبل	۲۰	۶۲۳/۴۰	۱۲۹/۷۳	۴۵۱	۹۴۶
	بعد	۲۰	۶۰۴/۱۵	۱۳۷/۳۰	۴۲۶	۹۲۶
گواه	قبل	۲۰	۶۲۷/۰۵	۸۵/۲۳	۴۶۸	۸۳۲
	بعد	۲۰	۶۲۲/۴۰	۹۴/۸۷	۴۱۰	۸۳۷

بحث

در این مطالعه اثر سه جلسه تحریک مستقیم فراجمجمه ای آندی بر روی عملکرد حافظه کاری موردبررسی قرار گرفت. نتایجی که از آنالیز کوواریانس به دست آمد، نشان می‌دهد که کارکرد

حافظه کاری پس از سه جلسه تحریک فراجمجمه‌ای از طریق tDCS آندی بر قشر جانبی‌خلفی پیش‌پیشانی (DLPFC) بهبود یافت و حافظه کاری گروهی از آزمودنی‌ها که تحت tDCS شم قرار گرفتند، تغییری نشان نداد. یافته‌های پژوهش با مطالعاتی که نقش tDCS را بر اعمال شناختی و حافظه کاری بررسی کردند، همسو است (۵۰، ۴۹،۴۸،۴۷). در تبیین این یافته‌ها می‌توان به تغییر فعالیت مغزی از طریق تعدیل انتقال‌دهنده عصبی[1] نورون گیرنده اشاره کرد. tDCS می‌تواند سرعت انتشار انتقال‌دهنده عصبی را از طریق تأثیر بر انتشار پتانسیل عمل یا احتمال آزاد شدن وزیکول ها[2] تغییر دهد. شواهد محکمی وجود دارد که نشان می‌دهد tDCS بر غلظت انتقال‌دهنده های عصبی تأثیر می‌گذارد (۵۱). البته این تأثیر بر غلظت ممکن است اختصاصی باشد. در تائید این نظر، یافته‌ها نشان می‌دهد تحریک آندی tDCS می‌تواند فعالیت انتقال‌دهنده عصبی گابا[3] را در بخشی از مغز فعال کند حال آن که در منطقه‌ای دیگر چنین تأثیری را نداشته باشد (۵۲). در زمینه تأثیر tDCS آندی بر DLPFC، می‌توان فرضیه افزایش میزان انتقال‌دهنده عصبی گلوتامات[4] را مطرح کرد. گلوتامات با حافظه کاری مرتبط است و موجب تسریع فرآیند حافظه می‌گردد (۵۳). یکی دیگر از فرضیاتی که در زمینه تأثیر tDCS بر پاسخ‌های صحیح آزمودنی‌ها مطرح می‌شود، بحث پتانسیل بلندمدت[5] (LTP) است. این مکانیسم به افزایش فعالیت طولانی‌مدت سلول های عصبی می‌پردازد و در بحث انعطاف‌پذیری نورونی مطرح می‌گردد. پتانسیل بلندمدت یکی از عوامل تأثیرگذار مهم در بحث یادگیری و حافظه است (۵۴). طبق این مکانیسم، تحریک آندی tDCS، موجب فرآیند ناقطبی شدن سلول و درنتیجه افزایش تحریک‌پذیری سلول می‌گردد اما تحریک کاتدی tDCS موجب بالا رفتن سطح آستانه سلول عصبی و کاهش تحریک‌پذیری سلول می‌شود. مطالعات رابطه LTP و tDCS را نشان می‌دهند (۵۵).

یکی از نکاتی که در این مطالعه موردتوجه قرار گرفت، این بود که در تحلیل داده‌ها، نتایج هر فرد نسبت به عملکرد خود در آزمون n-back مورد آنالیز قرار گرفت. یافته‌ها پیشنهاد می‌دهند که tDCS به‌طور بالقوه منفعت‌هایی برای رفتار افراد سالم دارد و به حالت اولیه عصب فیزیولوژی و رفتاری افراد وابسته است (۵۷، ۵۶، ۴۲، ۳۰). در گذشته بیشتر مطالعات در زمینه ارزیابی اثربخشی tDCS بر روی بیماران انجام‌گرفته است، نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که روش تحریک مغزی tDCS در افراد سالم نیز دارای کاربرد است. اگر tDCS می‌تواند منجر به بهبود عملکرد در حافظه کاری افراد سالم شود پس با انجام تکالیف پیچیده‌تر اثر آن بر روی کارکردهای شناختی پیچیده‌تری نیز قابل ارزیابی خواهد بود؛ مطالعات همچنین نشان می‌دهند که وضعیت و اطلاعات بیشتری از شرکت‌کنندگان در مطالعات آینده نیاز است. پژوهش‌های آینده می‌تواند تنوع پاسخ‌های عصبی و ارتباط آن‌ها را با پیامدهای رفتاری ناشی از جلسات tDCS را موردبررسی قرار دهد. روش‌هایی مانند EEG (۵۸) و fMRI (۵۹) و ترکیب آن‌ها با tDCS پژوهش‌های محتمل برای کشف این مکانیسم هستند و با انجام این پژوهش‌ها آینده tDCS امیدوارکننده‌تر خواهد بود. برخی از پژوهش ها که تعداد قابل‌ملاحظه‌ای آزمودنی سالم یا دارای اختلال عصب‌شناختی را موردبررسی قراردادند، رعایت اخلاق و ایمنی از tDCS در طی چند جلسه را مورد پرسش قراردادند و به این نتیجه رسیدند که تکرار جلسات tDCS خطر (اثر جدی و شدید یا آسیب غیرقابل‌بازگشت) آن را افزایش نمی‌دهد (۶۱،۶۲،۶۳). پارامترهای تحریک در این مطالعه با اصول اخلاقی در کشور سازگار بوده است و کد اخلاقی دریافت گردید و آزمودنی‌ها از اثرات احتمالی tDCS کاملاً آگاه بودند. به‌طور خلاصه، مطالعه حاضر شواهدی را ارائه می‌دهد که tDCS آندی قشر جانبی پیش‌پیشانی قابلیت بهبود عملکرد حافظه کاری را دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که tDCS می‌تواند حافظه کاری را بهبود بخشد و این ارتقاء عملکرد می‌تواند به تکلیف سنجش حافظه کاری n-back منتقل شود. با توجه به نتایج این پژوهش، می‌توان پیشنهاد داد که جهت توان‌بخشی ذهنی، از این روش در کنار سایر درمان‌ها استفاده شود. این نتایج کاربرد tDCS را برای توان‌بخشی شناختی حافظه کاری نشان می‌دهد.

ملاحظات اخلاقی

طرح پژوهشی حاضر در کمیته اخلاق پژوهش‌های زیست پزشکی ابن‌سینا با کد اخلاق .IR.ACECR.Avicenna REC.۱۳۹۶.۱۵ مورد تائید قرارگرفته است.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از حمایت مالی و معنوی جهاد دانشگاهی در انجام این تحقیق کمال تشکر و قدردانی را داریم.

1 neurotransmtter
2 vesicles
3 GABA
4 Glutamate
5 Long Term Potential

تضاد منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد.

منابع

1. Au J, Katz B, Buschkuehl M, Bunarjo K, Senger T, Zabel C. et al. Enhancing working memory training with transcranial direct current stimulation. J. Cognitive. Neuroscience. 2016; 28, 1419–1432. doi: 10.1162/jocn_a_0097

2. Baddeley A. Working memory. Current Biology. 2010; 20, 136–140. doi: 10.1016/j.cub.2009; 12.014

3. Osaka M, Osaka N, Kondo H, Morishita M, Fukuyama H, Aso T. et al. The neural basis of individual differences in working memory capacity: an fMRI study. Neuroimage. 2003; 18, 789–797. doi: 10.1016/S1053-8119(02)00032-0

4. Owen AM, McMillan KM, Laird AR, Bullmore E. N-back working memory paradigm: a meta-analysis of normative functional neuroimaging studies. Humman Brain Mapping. 2005; 25, 46–59. doi: 10.1002/hbm. 20131

5. Chein JM, Moore AB, Conway ARA. NeuroImage domaingeneral mechanisms of complex working memory span. Neuroimage. 2011; 54,550–559. doi: 10.1016/j.neuroimage.2010.07.067

6. Kim C, Kroger JK, Calhoun VD, Clark VP. The role of the frontopolar cortex in manipulation of integrated information in working memory. Neuroscience Letters. 2015; 595, 25–29. doi: 10.1016/j.neulet.2015.03.044

7. Jimura K, Chushak MS, Westbrook A, Braver TS. Intertemporal decision-making involves prefrontal control mechanisms associated with working memory. Cerebral Cortex. 2017; doi: 10.1093/cercor/bhx015

8. Moore AB, Li Z, Tyner CE, Hu X, Crosson B. Bilateral basal ganglia activity in verbal working memory. Brain and Language. 2013; 125, 316–323.doi: 10.1016/j.bandl.2012.05.003

9. Vartanian O, Jobidon ME, Bouak F, Nakashima A, Smith I, Lam Q. et al. Working memory training is associated with lower prefrontal cortex activation in a divergent thinking task. Neuroscience. 2013; 236, 186–194. doi:10.1016/j.neuroscience. 201212.060

10. Rodriguez Merzagora AC, Izzetoglu M, Onaral B, Schultheis MT. Verbal working memory impairments following traumatic brain injury: an fNIRS investigation. Brain Imaging and Behavior. 2014; 8, 446–459. doi: 10.1007/s11682-013-9258-8

11. Murty VP, Sambataro F, Radulescu E, Altamura M, Iudicello J, Zoltick B. et al. Selective updating of working memory content modulates mesocortico-striatal activity. *Neuroimage*, 2011; 57, 1264–1272. doi: 10.1016/j.neuroimage.2011.05.006

12. Cain K, Oakhill J, Bryant P. Children's reading comprehension ability: Concurrent prediction by working memory, verbal ability, and component skills. *Journal of Educational Psychology*. 2004; 96, 31 42. http://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0022-0663.96.1.31.

13. Cowan N. The many faces of working memory and short-term storage. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2017; 24, 1158–1170. https://doi.org/10.3758/s13423-016-1191-6

14. Cowan N. The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity, *Brain Imaging and Behavior*. 2001; 24, 87-185

15. Miller GA. The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 1956; 63, 81-97

16. Andrews SC, Hoy KE, Enticott PG, Daskalakis ZJ, Fitzgerald PB. Improving working memory: the effect of combining cognitive activity and anodal transcranial direct current stimulation to the left dorsolateral prefrontal cortex. *Brain Stimulation*. 2001; 4, 84–89. doi: 10.1016/j.brs.2010.06.004

17. Coffman BA, Clark VP, Parasuraman R. Battery powered thought: enhancement of attention, learning, and memory in healthy adults using transcranial direct current stimulation. *Neuroimage*. 2014; 85, 895–908. doi: 10.1016/j.neuroimage.2013.07.083

18. Santarnecchi E, Brem AK, Levenbaum E, Thompson T, Kadosh RC, Pascual-Leone A. Enhancing cognition using transcranial electrical stimulation. *Current Opinion in Behavioral Sciences*. 2015; 4, 171–178. doi: 10.1016/j.cobeha.2015.06.003

19. Dockery CA, Liebetanz D, Birbaumer N, Malinowska M, Wesierska MJ. Cumulative benefits of frontal transcranial direct current stimulation on visuospatial working memory training and skill learning in rats. *Neurobiology of Learning and Memory*. 2011; 96, 452–460. doi: 10.1016/j.nlm.2011.06.018

20. Brunoni AR, Vanderhasselt MA. Working memory improvement with non-invasive brain stimulation of the dorsolateral prefrontal cortex: a systematic review and meta-analysis. *Brain and Cognition*. 2014; 86, 1–9. doi: 10.1016/j.bandc.2014.01.008

21. Park SH, Seo JH, Kim YH, Ko MH. Long-term effects of transcranial direct current stimulation combined with computerassisted cognitive training in healthy older adults. *Neuroreport*. 2014; 25, 122–126. doi: 10.1097/wnr.0000000000000080

22. Richmond LL, Wolk D, Chein J, Olson IR. Transcranial direct current stimulation enhances verbal working memory training performance over time and near transfer outcomes. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2014; 26, 2443–2454.doi: 10.1162/jocn_a_00657

23. Nelson JT, McKinley RA, Golob EJ, Warm JS, Parasuraman R. Enhancing vigilance in operators with prefrontal cortex transcranial direct current stimulation (tDCS). *Neuroimage*. 2014; 85, 909–917. doi: 10.1016/j.neuroimage.2012.11.061

24. Ciechanski P, Kirton A. Transcranial direct-current stimulation can enhance motor learning in children. *Cerebral Cortex*. 2017; 27, 2758–2767. doi: 10.1093/cercor/bhw114

25. Filmer HL, Mattingley JB, Dux PE. Improved multitasking following prefrontal tDCS. *Cortex*. 2013; 49, 2845–2852. doi: 10.1016/j.cortex.2013.08.015

26. Hsu WY, Zanto TP, Anguera JA, Lin YY, Gazzaley A. Delayed enhancement of multitasking performance: effects of anodal transcranial direct current stimulation on the prefrontal cortex. *Cortex*. 2015; 69, 175–185. doi: 10.1016/j.cortex.2015.05.014

27. Fregni F, Boggio PS, Nitsche M, Bermpohl F, Antal A, Feredoes E. et al. Anodal transcranial direct current stimulation of prefrontal cortexenhances working memory. *Experimental Brain Research*. 2005; 166, 23–30. doi: 10.1007/s00221-005-2334-6

28. Moreno ML, Vanderhasselt MA, Carvalho AF, Moffa AH, Lotufo PA, Benseñor IM. et al. Effects of acute transcranial direct current stimulation in hot and cold working memory tasks in healthy and depressed subjects. *Neuroscience Letters*. 2015; 591, 126–131. doi: 10.1016/j.neulet.2015.02.036

29. Gözenman F, Berryhill ME. Working memory capacity differentially influences responses to tDCS and HD-tDCS in a retro-cue task. *Neuroscience Letters*. 2016; 629, 105–109. doi: 10.1016/j.neulet.2016.06.056

30. Hill AT, Fitzgerald PB, Hoy KE. Effects of anodal transcranial direct current stimulation on working memory: a systematic review and meta-analysis of findings from healthy and neuropsychiatric populations. *Brain Stimulation*. 2016; 9, 197–208. doi: 10.1016/j.brs.2015.10.006

31. Stephens JA, Berryhill ME. Older adults improve on everyday tasks after working memory training and neurostimulation. *Brain Stimulation*. 2016; 9, 553–559. doi: 10.1016/j.brs.2016.04.001

32. Talsma LJ, Kroese HA, Slagter HA. Boosting cognition: effects of multiple-session transcranial direct current stimulation on working

healthy controls. *Frontiers in Psychiatry*. 2011; 2, 1-6.

48. Brunoni A, Ferrucci R, Bortolomasi M, Vergari M, Tadini L, Boggio P. Transcranial direct current stimulation (TDCS) in unipolar vs. bipolar depressive disorder. *Progress in Neuro-Psychopharmacology & Biological Psychiatry*,2011; 65(1):63.101.

49. Arkan, A, Yaryari F, The Effect of Transcranial Direct Current Stimulation (TDCS) on the Working Memory in Healthy People. *Cognitive Psychology*. 2004; 2(2), 10-17 (Persian)

50. Filho E M D S, Albuquerque J A D, Mescouto K. A, Freitas R P D A. Effect of transcranial direct current stimulation on the working memory of post-stroke people an integrative review. Manual Therapy, *Posturology& rehabilitation journal*. 2017; 15, 496502 -.

51. Stagg C J, Best J. G, Stephenson M C, O'Shea J, Wylezinska M, Kincses Z T, et al. Polarity-sensitive modulation of cortical neurotransmitters by transcranial stimulation. *Journal of Neuroscience*.2009; 29, 5202–5206. 10.1523/JNEUROSCI.4432-08.2009

52. Wilke S, List J, Mekle R, Lindenberg R, Bukowski M, Ott S, et al. No effect of anodal transcranial direct current stimulation on gamma-aminobutyric acid levels in patients with recurrent mild traumatic brain injury. *Journal of Neurotrauma*. [Epub ahead of print]. 2016; 10.1089/neu.2016.4399

53. Robbins T W, Murphy E R. Behavioural pharmacology, 40years of progress, with a focus on glutamate receptors and cognition, *Trends in Pharmacological Sciences*. 2006; 27, 141–148

54. Cooke S.F, & Bliss, T.V.P. Plasticity in the human central nervous system. *Brain*. 2006; 129, 1659– 1673.

55. Ranieri F, Podda M V, Riccardi E Frisullo, G Dileone, M Profice, P Pilato, F D Lazzaro, Grassi C. Modulation of LTP at rat hippocampal CA3-CA1 synapses by direct current stimulation. *Neurophysiology*. 2012; 107, 7, 1868– 1880

56. Moreno ML, Vanderhasselt MA, Carvalho AF, Moffa AH, Lotufo PA, Benseñor IM. et al. Effects of acute transcranial direct current stimulation in hot and cold working memory tasks in healthy and depressed subjects. *Neuroscience Letters*. 2015; 591, 126–131. doi:10.1016/j.neulet.2015.02.036.

57. Gözenman F, Berryhill ME. Working memory capacity differentially influences responses to tDCS and HD-tDCS in a retro-cue task. *Neuroscience Letters*. 2016; 629, 105–109. doi: 10.1016/j.neulet.2016.06.056

58. Sood M, Besson P, Muthalib M, Jindal U, Perrey S, Dutta A. et al. NIRS-EEG joint imaging during transcranial direct current stimulation: online parameter estimation with an autoregressive model. *Journal of Neuroscience Methods*. 2016; 274, 71–80. doi: 10.1016/j.jneumeth.2016.09.008.

59. Callan DE, Falcone B, Wada A, Parasuraman R. Simultaneous tDCS-fMRI identifies resting state networks correlated with visual search enhancement. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2016; 10, 72. doi: 10.3389/fnhum.2016.00072

60. Fertonani A, Ferrari C, Miniussi C. What do you feel if I apply transcranial electric stimulation? Safety, sensations and secondary induced effects. *Clinical*. *Neurophysiology*. 2015; 126, 2181–2188. doi: 10.1016/j.clinph.2015.03.015

61. Bikson M, Grossman P, Thomas C, Zannou AL, Jiang J, Adnan T. et al. Safety of transcranial direct current stimulation: evidence-based update 2016. *Brain Stimulation*. 2016; 9, 641–661. doi: 10.1016/j.brs.2016.06.004

62. Matsumoto H, Ugawa Y. Adverse events of tDCS and tACS: a review. *Clinical Neurophysiology Practice*. 2017; 2, 19–25. doi: 10.1016/j.cnp.2016;12.003

63. Nikolin S, Huggins C, Martin D, Alonzo A, Loo CK. Safety of repeated sessions of transcranial direct current stimulation: a systematic review. *Brain Stimulation*. 2018; 11, 278–288. doi: 10.1016/j.brs.2017;10.020

memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2017; 29, 755–768. doi: 10.1162/jocn_a_01077

33. McKendrick R, Parasuraman R, Ayaz H. Wearable functional near infrared spectroscopy (fNIRS) and transcranial direct current stimulation (tDCS): expanding vistas for neurocognitive augmentation. *Frontiers in Systems Neuroscience*. 2015; 9(27). doi: 10.3389/fnsys.2015.00027

34. Bergmann TO, Karabanov A, Hartwigsen G, Thielscher A, Siebner HR. Combining non-invasive transcranial brain stimulation with neuroimaging and electrophysiology: current approaches and future perspectives. *Neuroimage*. 2016; 140, 4–19. doi: 10.1016/j.neuroimage.2016.02.012

35. Wörsching J, Padberg F, Ertl-Wagner B, Kumpf U, Kirsch B, Keeser D. et al. Imaging transcranial direct current stimulation (tDCS) of the prefrontal cortex—correlation or causality in stimulation-mediated effects? *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 2016; 69, 333–356. doi: 10.1016/j.neubiorev.2016.08.001

36. Jones KT, Peterson DJ, Blacker KJ, Berryhill ME. Frontoparietal neurostimulation modulates working memory training benefits and oscillatory synchronization. *Brain Resarch*. 2017; 1667, 28–40. doi: 10.1016/j.brainres.2017.05.005

37. Bogaard AR, Lajoie G, Boyd H, Morse A, Zanos S, Fetz E.Cortical network mechanisms of anodal and cathodal transcranial direct current stimulation in awake primates. 2019; bioRxiv:516260 [Preprint]. doi: 10.1101/516260

38. Horvath JC, Forte JD, Carter O. Quantitative review finds no evidence of cognitive effects in healthy populations from single-session transcranial direct current stimulation (tDCS). *Brain Stimulation*. 2015; 8, 535–550. doi: 10.1016/j.brs.2015.01.400

39. Mancuso LE, Ilieva IP, Hamilton RH, Farah MJ. Does transcranial direct current stimulation improve healthy working memory?a meta-analytic review. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2016; 28, 1063–1089. doi: 10.1162/jocn_a_00956

40. Katz B, Au J, Buschkuehl M, Abagis T, Zabel C, Jaeggi SM. et al. Individual differences and long-term consequences of tDCS-augmented cognitive training. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2017; 29, 1498–1508. doi: 10.1162/jocn_a_01115

41. Stephens JA, Jones KT, Berryhill ME. Task demands, tDCS intensity, and the COMT val 158 met polymorphism impact tDCS-linked working memory training gains. *Scientific Report*. 2017; 7, 13463. doi: 10.1038/s41598-017-14030-7

42. Trumbo M. C, Matzen L. E, Coffman B A, Hunter M. A, Jones A. P, Robinson C. S., et al. (2016). Enhanced working memory performance via transcranial direct current stimulation: the possibility of near and far transfer. Neuropsychologia 93, 85–96. 10.1016/j.neuropsychologia.2016.10.011

43. Mancuso LE, Ilieva IP, Hamilton RH, Farah MJ. Does transcranial direct current stimulation improve healthy working memory? a meta-analytic review. *Journal of Cognitive*. *Neuroscience*. 2016; 28, 1063–1089. doi: 10.1162/jocn_a_00956

44. Conway AR, Miura TK, Colflesh GJ. Working memory, attention control, and the N-back task: a question of construct validity. *Journal of Experimental Psychology*: *Learning*, *Memory*, *and Cognition*. 2007; 33(3), 615-22.

45. Najarzadegan M, Nejati M, Amiri N. Working memory is an effective indicator of risk taking in children with attention deficit / hyperactivity disorder. *Journal of Neuroscience Psychology*, 2015; 1(1), 52-68. (Persian)

46. Zaehle T, Sandmann P, Thorne JD. Transcranial direct current stimulation of the prefrontal cortex modulates working memory performance: combined behavioural and electrophysiological evidence. *BMC Neuroscince*, 2011; 12, 2.

47. Teo F, Hoy K, Daskalakis Z, Fitzgerald P. Investigating the role of current strength in TDCS modulation of working memory performance in