http://jcp.khu.ac.ir

فصلنامه روانشناسی شناختی دوره ۲، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۳

تحریک مغز از روی جمجمه با استفاده از جریان مستقیم الکتریکی (TDCS) بر حافظه‌ی کاری در افراد سالم

* **امین ارکان:** (نویسنده مسئول)، کارشناس ارشد روانشناسی عمومی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. amin.arkan@gmail.com

فریدون یاریاری: استادیار گروه روانشناسی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۲/۲۱ پذیرش اولیه: ۱۳۹۳/۷/۲۱ پذیرش نهایی: ۱۳۹۳/۸/۲۴

چکیده

این پژوهش به منظور بررسی تأثیر تحریک مغز از روی جمجمه با استفاده از جریان مستقیم الکتریکی بر روی حافظه‌ی کاری در ناحیه‌ی قشر پیش پیشانی خلفی جانبی انجام شد. طرح این نوع پژوهش از نوع آزمایشی با گروه گواه و انتساب تصادفی بود. جامعه‌ی آماری شامل دانشجویان مرد دانشگاه خوارزمی در مقطع سنی ۱۸ تا ۲۳ سال بود. دو نوع مختلف تحریک آندی و ساختگی با شدت جریان ۲ میلی آمپر و به مدت ۱۵ دقیقه بر ۳۰ نفر شرکت کننده طی ۳ جلسه ارائه شد. شرکت کنندگان قبل و بعد از تحریک با آزمون تعیین فراخنای حافظه‌ی کاری جهت بررسی زمان واکنش و تعداد پاسخ‌های درست، مورد سنجش قرار گرفتند. پس از انجام تحلیل کوواریانس تک‌متغیری مشخص شد که تغییر در زمان واکنش و تعداد پاسخ‌های درست از لحاظ آماری معنادار است. تحقیق حاضر نشان داد که تحریک آندی سبب کاهش زمان واکنش و افزایش تعداد پاسخ‌های صحیح شده است و به نظر می‌رسد موجب بهبود حافظه‌ی کاری می‌شود.

کلیدواژه‌ها: تحریک الکتریکی مستقیم مغز از روی جمجمه (TDCS)، کرتکس پیش پیشانی خلفی جانبی (DLPFC)، حافظه‌ی کاری، تکلیف n-back.

Journal of Cognitive Psychology, Vol. 2, No. 2, Summer 2014

The Effect of Transcranial Direct Current Stimulation (TDCS) on the Working Memory in Healthy People

***Arkan, A.** (Corresponding author) MA of General Psychology, Kharazmi University, Tehran, Iran.
amin.arkan@gmail.com

Yaryari, F. Assistant Professor, Department of Psychology, Kharazmi University, Tehran, Iran.

Abstract

Aim of this research was exploring the effect of transcranial direct current stimulation (TDCS) on the working memory (WM) in dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC) area in healthy people. Design of this study was experimental with random assignment and control group. And population of the study included male students of Kharazmi University whose age was in the range of 18 to 23. 30 participants of the study underwent three experimental sessions in which they received 15 minutes of 2 mA anodal TDCS or sham TDCS. After and before the stimulation, these participants performed N-Back task to measure the reaction time and correct answers. After the analysis of covariance, it was revealed that changing the reaction time and the number of correct answers was statistically significant. Results of the present study showed that anodal stimulation has reduced the reaction time and has increased the correct answers and furthermore; it seems that anodal stimulation can improve the working memory.

Keywords: Transcranial Direct Current Stimulation (TDCS), Dosolateral Prefrontal Cortex (DLPFC), Working Memory (WM), N-Back Task.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.23455780.1393.2.2.2.7]

مقدمه

حافظه‌ی کاری، اشاره به نظامی دارد که ذخیره سازی محصولات واسطه‌ای شناخت و تغییر و دگرگونی‌های آن‌ها را ممکن می‌سازد. این حافظه به فرایندهایی اشاره دارد که در فرایند ذخیره منفعلانه اطلاعات عمل می‌کنند و در واقع دارای توانایی شناختی برای دستکاری اطلاعات ذخیره شده است (رابسون[1]، ۲۰۱۲). پژوهشگران بر این باورند که زیربنای توانایی ما برای تفکر پیچیده است و تاکنون چندین نظریه به منظور معرفی آن مطرح شده‌است که موفق‌ترین مدل برای توصیف این حافظه، مدل چند مؤلفه‌ای بدلی و هیچ است. این پژوهش نیز بر اساس این مدل طراحی شده است. در مدل حافظه‌ی کاری بدلی، حافظه‌ی کاری چهار مؤلفه‌ی اصلی دارد که عبارتند از: حلقه‌ی واج شناختی، حافظه‌ی کاری دیداری- فضایی، مجری مرکزی و انباره رویدادی. حلقه‌ی واج شناختی و حافظه‌ی کاری دیداری- فضایی مانند دو دستیار عمل کرده و به مجری مرکزی در انجام کارش کمک می‌کنند. دروندادهای حافظه‌ی حسی وارد حلقه‌ی واج شناختی می‌گردند که در آن اندوزش و مرور اطلاعات گفتاری انجام می‌شود. حافظه‌ی کاری دیداری- فضایی محل اندوزش اطلاعات دیداری و فضایی از جمله تصویرهای ذهنی است. مجری مرکزی نقش مهمی در توجه، برنامه‌ریزی و سازماندهی دارد. مجری مرکزی همچون ناظری عمل می‌کند که اطلاعات و مسائل قابل توجه و اطلاعات و مسائل بی اهمیت را مشخص می‌کند. همچنین تعیین می‌کند که در پردازش اطلاعات و حل مسأله از چه راهبردهایی استفاده شود. بدلی (۲۰۰۰) مؤلفه‌ی چهارمی را در مدل وارد کرد؛ انباره‌ی رویدادی[2]. این انباره یک سیستم ذخیره سازی کوتاه مدت است که در کنترل بخش اجرایی مرکزی قرار دارد و اطلاعات مدار آوایی و صفحه‌ی دیداری فضایی را به هم مرتبط می‌کند تا بتواند واحدهای تلفیقی دیداری- فضایی-کلامی را به ترتیب زمانی تشکیل دهد (بدلی[3]، ۲۰۰۳).

صدمه به حافظه‌ی کاری به عنوان ویژگی اصلی در تعدادی از اختلالات روانی و نورولوژیکی مانند هانتینگتون، پارکینسون، آلزایمر، افسردگی و اسکیزوفرنیا شناخته شده‌است (پائولو[4]، ۲۰۰۶). صدمات شناختی به سختی قابل درمان هستند و رویکردهای سنتی مانند دارودرمانی و توان بخشی شناختی پیشرفت‌های محدودی در این زمینه داشته‌اند (لیبتانز[5]، ۲۰۰۲)؛ بنابراین یافتن رویکردهای نوین برای بهبود حافظه‌ی کاری بسیار مهم است. مطالعات تصویربرداری عصبی که فرآیندهای حافظه‌ی کاری در مغز را شناسایی می‌کنند، کرتکس پیش پیشانی و مخصوصاً کرتکس پیش پیشانی خلفی جانبی[6] (DLPFC) را به عنوان ناحیه‌ی مهم درگیر در فرایندها و کمبودهای حافظه‌ی کاری پیشنهاد کرده‌اند (زائل[7]، ۲۰۱۱). باربی[8]، کوئینگز[9] و گرافمن[10] (۲۰۱۳) نقش DLPFC در حافظه‌ی کاری را بررسی کردند. بر اساس یافته‌های آن‌ها DLPFC چپ برای دستکاری دانش فضایی و کلامی و DLPFC راست برای استدلال فضایی و کلامی ضروری است که آن را هماهنگ با مدل دامنه - عمومی[11] حافظه‌ی کاری می‌دانند که فرض می‌کند DLPFC مکانیسم‌های محاسباتی خاصی برای نظارت[12] و دستکاری بازنمایی‌های شناختی دارد؛ بنابراین تکنیک‌هایی که مستقیماً فعالیت کرتکس پیش پیشانی خلفی جانبی را مورد بررسی و تنظیم قرار می‌دهند قابلیت خوبی برای بهبود حافظه‌ی کاری دارند.

در سال‌های اخیر تحقیق درباره‌ی کارآمدی تکنیک‌های غیر تهاجمی تحریک مغز افزایش یافته است. به خصوص تحریک مغز از روی جمجمه با استفاده از جریان مستقیم الکتریکی[13] (TDCS) نتایج امیدوار کننده‌ای نشان داده‌است (اهن[14] و همکاران، ۲۰۰۸). تحریک الکتریکی مستقیم مغز از روی جمجمه (TDCS) یک تکنیک تحریک غیر تهاجمی مغز می‌باشد که می‌تواند با استفاده از یک جریان ضعیف الکتریکی بر جمجمه، تغییرات موقتی در تحریک‌پذیری مناطق قشری ایجاد کند. پارامترهای فیزیکی TDCS شامل شدت جریان، مکان تحریک، اندازه الکترود، مدت زمان تحریک و قطبیت جریان (آند[15] یا کاتد[16]) هستند که هر یک موجب تأثیرات متفاوتی می‌شوند (کلارک[17]، ۲۰۱۱).

1. Robson
2. Episodic buffer
3. Baddeley
4. Paolo
5. Leibtanz
6. Dorsolartela prefrontal cortex
7. Zael
8. Barbey
9. Koenigs
10. Grafman
11. Domain-general
12. Monitoring
13. Transcanial direct current stimulation
14. Ohen
15. Anode
16. Cathode
17. Clark

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.23455780.1393.2.2.2.7]

تحریک الکتریکی مستقیم مغز از روی جمجمه (TDCS) با تغییر تحریک پذیری نورون‌ها و جابجایی پتانسیل غشای نورون‌های سطحی در جهت دپولاریزاسیون یا هایپر پولاریزاسیون، موجب شلیک بیشتر یا کمتر سلول‌های مغز می‌شود (نیچه[18]، ۲۰۰۵). تحریک مغز از روی جمجمه با استفاده از جریان مستقیم الکتریکی به منظور تغییر تحریک پذیری کرتکس در نواحی مورد نظر موجب افزایش یا کاهش کارکردهای مغزی می‌شود (نیچه و همکاران، ۲۰۰۵). در حالی‌که کانون تحریک الکتریکی مستقیم مغز از روی جمجمه (TDCS) تا اندازه‌ای محدود است، اما تأثیرات کارکردی آن مستقیماً در ناحیه‌ی محدود به زیر الکترودها ظاهر می‌شود (نیچه و همکاران، ۲۰۰۶). مطالعات اولیه‌ی تحریک الکتریکی مستقیم مغز از روی جمجمه (TDCS) عمدتاً بر روی کرتکس حرکتی و بینایی انجام شده است، هرچند مطالعات در مورد تأثیر تحریک الکتریکی مستقیم مغز از روی جمجمه (TDCS) بر کرتکس پیش پیشانی خلفی جانبی، در حال افزایش است (تئو[19] و همکاران، ۲۰۱۱).

پژوهش‌هایی که اثر بخشی تحریک TDCS بر حافظه‌ی کاری را بررسی کرده‌اند نتایج متفاوتی را گزارش کرده‌اند. برخی پژوهشگران تأثیر تحریک آندی، کاتدی و شم را بر کرتکس پیش پیشانی خلفی جانبی چپ در اجرای تکلیف 3-back بررسی و افزایش دقت در اجرای تکلیف تحت تحریک آندی را گزارش کردند؛ اما زمان واکنش تغییری نداشت. در این پژوهش شدت جریان یک میلی آمپر و طول زمان تحریک ۱۰ دقیقه بود (فرگنی[20] و همکاران، ۲۰۰۵). در پژوهشی دیگر با تحریک ۲ میلی آمپری DLPFC چپ در بیماران پارکینسون، موجب بهبود حافظه‌ی کاری در دقت تکلیف 3-back شد ولی تحریک ۱ میلی آمپری بر DLPFC و نیز بر ناحیه‌ی کرتکس حرکتی تغییری در عملکرد تکلیف نداشت. همچنین سرعت انجام تکلیف نیز تغییری نداشت. در این پژوهش طول هر جلسه (۳ جلسه) تحریک ۲۰ دقیقه بود و بین جلسات ۴۸ ساعت فاصله وجود داشت (باجیو[21] و همکاران، ۲۰۰۶). در مطالعه‌ی دیگری پس از ۲۰ دقیقه تحریک آندی، با شدت جریان یک میلی آمپری و دو میلی آمپری در انجام تکلیف n-back و تکلیف استرنبرگ بررسی شد. دقت اجرای تکلیف 3-back در هیچ کدام از شدت جریان‌ها تغییری نداشت اما زمان واکنش کاهش یافت (تئو و همکاران، ۲۰۱۱). مالکوینی[22] و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی با شدت جریان ۱ میلی آمپر و مدت زمان تحریک ۲۰ دقیقه، نشان دادند که تحریک آندی برخی جنبه‌های کارکردی DLPFC را بهبود می‌بخشد. سرعت انجام تکلیف تنها پارامتری بود که در تکلیف دو عدد به عقب افزایش یافت اما در تکلیف یک عدد به عقب تغییری نکرد. بریهیل و جونز (۲۰۱۲) نشان دادند که TDCS بر روی حافظه‌ی کاری در افراد بزرگسال با تحصیلات بالا مؤثر است و در گروه‌های تحصیلات پایین‌تر تأثیری گزارش نکردند و آن را ناشی از چرخه‌های متفاوت لوب پیشانی به عنوان راهبردهای کارکردی بزرگسالان در هنگام اجرای تکالیف حافظه‌ی کاری دانستند. در این مطالعه شدت جریان ۱/۵ میلی آمپر و مدت زمان ارائه تحریک ۲۰ دقیقه بود. در مطالعه‌ی اولیویرا[23] و همکاران (۲۰۱۳) TDCS بر حافظه‌ی کاری افراد افسرده مؤثر بود. الکترود آند و کاتد به ترتیب بر DLPFC چپ و راست قرار گرفتند. اندازه الکترودها ۵ سانتی متر در ۵ سانتی متر و شدت جریان ۲ میلی آمپر (چگالی جریان ۰/۰۸ میلی آمپر بر سانتی متر مربع) و مدت زمان تحریک یک جلسه‌ی ۲۰ دقیقه‌ای بود. جهت سنجش حافظه‌ی کاری تکلیف n-back، قبل و ۱۵ دقیقه بعد از تحریک توسط شرکت کنندگان انجام شد. معیار پاسخ[24] و تعداد پاسخ‌های درست گروه تحریک آندی افزایش یافت و این افزایش به طور شدید بود، یعنی بر حافظه‌ی کاری کند در افراد افسرده مؤثر بود. با توجه به نتایج متفاوت اشاره شده، این پژوهش با استفاده از تحریک دو میلی آمپری TDCS به مدت ۱۵ دقیقه در سه جلسه‌ی متوالی به منظور بررسی سرعت واکنش و دقت پاسخ‌ها انجام گرفت. فرضیه‌های پژوهش بدین صورت است: تحریک الکتریکی آندی مستقیم مغز از روی جمجمه (TDCS) بر کرتکس پیش پیشانی خلفی جانبی موجب بهبود زمان واکنش می‌شود. تحریک الکتریکی آندی مستقیم مغز از روی جمجمه (TDCS) بر کرتکس پیش پیشانی خلفی جانبی موجب تغییر در تعداد پاسخ‌های صحیح می‌شود.

18. Nitsche
19. Teo
20. Fregni
21. Boggio
22. Mulquiney
23. Oliveira
24. Response criterion

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.23455780.1393.2.2.2.7]

روش

این پژوهش از نوع طرح‌های آزمایشی با گروه گواه و انتساب تصادفی و جامعه‌ی آماری آن دانشجویان مرد دانشگاه خوارزمی در مقطع سنی ۱۸ تا ۲۳ (با میانگین سنی ۲۰/۲۷) سال بود. شرکت کنندگان در این پژوهش از بین دانشجویان دانشگاه خوارزمی به صورت نمونه‌ی در دسترس انتخاب شدند. ملاک‌های ورودی جهت شرکت در این پژوهش به قرار زیر بود: راست دست و بهنجار باشند و سابقه‌ی اختلالات روانی، سابقه‌ی صرع یا تشنج یا دیگر اختلالات عصب شناختی را نداشته باشند و قطعات پیوندی فلزی در بدن‌شان نباشد. شرکت کنندگان در این پژوهش ۳۰ نفر که همگی مرد بودند به طور تصادفی در گروه‌های آند (آزمایشی) و شم (کنترل) قرار گرفتند (هر گروه ۱۵ نفر).

ابزار

۱. *تکلیف کامپیوتری n-back*: تکلیف کامپیوتری n-back یک تکلیف سنجش عملکرد شناختی مرتبط با کنش های اجرایی[25] است که عموماً در مطالعات تصویربرداری عصبی برای برانگیختن کارکرد مغز آزمودنی‌ها به کار می‌رود. این تکلیف برای نخستین بار در سال ۱۹۵۸ توسط کرچنر معرفی شد. روند کلی تکلیف بدین قرار است که دنباله‌ای از محرک‌ها (عموماً دیداری) به صورت گام به گام، به آزمودنی ارائه می‌شود و آزمودنی باید بررسی کند که آیا محرک ارائه شده فعلی، با محرک n گام قبل از آن هم خوانی دارد یا خیر. انجام این آزمایش با مقادیر مختلف n صورت می‌گیرد و با افزایش میزان n بر دشواری تکلیف افزوده می‌شود. بدین ترتیب، در تکلیف یک 1-back، آخرین محرک ارائه شده با محرک قبلی مقایسه می‌شود و در تکلیف 3-back، آخرین محرک ارائه شده با ۳ محرک قبل مقایسه خواهد شد.

۲. *دستگاه TDCS*: دستگاه مورد استفاده در این تحقیق دستگاه ActiveDose ساخت شرکت ActivaTek آمریکا می‌باشد. منبع جریان این دستگاه یک باطری ۹ ولت آلکالین است. ابعاد دستگاه ۴/۸ ×۸/۹× ۱۵/۵ و وزن آن ۰/۱۸ کیلوگرم، حداکثر شدت جریان ۴ میلی آمپر DC می‌باشد که از طریق اتصال الکترودهایی با قطبیت متفاوت (آند و کاتد) که روی پوست سر نصب می‌شوند، جریان ثابت الکتریکی را از روی جمجمه به مغز منتقل می‌کند. الکترودها می‌توانند کربنی و رسانا باشند. اندازه الکترودها در این پژوهش ۷×۵ سانتی متر مربع بود که درون اسفنج آغشته به کلرید سدیم ۹ درصد قرار می‌گیرد تا ضمن افزایش رسانایی جریان الکتریکی از افزایش حرارت پیشگیری شود. دستگاه از لحاظ شدت جریان و اندازه الکترودها و مدت زمان تحریک قابل کنترل است.

شیوه‌ی اجرا

این طرح در محیط آزمایشگاهی اجرا شد. متغیرهایی مانند دما، نور و صدا در تمام جلسات تا حد امکان کنترل شدند. پس از بررسی شرایط ورود به طرح، ابتدا عملکرد دستگاه TDCS برای شرکت کنندگان توضیح داده شد و برگه رضایت نامه با ذکر تأثیرات جانبی آزمون به امضا آزمودنی‌ها رسید. سپس توضیحاتی درباره روند آزمون به آزمودنی‌ها داده شد. شرکت کنندگان قبل از دریافت TDCS تکلیف 2-back را انجام دادند.

در این آزمایش دو نوع جریان داریم:

۱- TDCS واقعی با جریانی که الکترود آند آن در کرتکس خلفی جانبی پیش پیشانی DLPC چپ معادل نقطه F3 در سیستم EEG ۲۰/۱۰ و الکترود کاتد بر بالای قشر حدقه‌ای در طرف مقابل می‌باشد.

۲- TDCS شم یا ساختگی به عنوان گروه کنترل، به این صورت که مکان الکترودها همانند الکترودهای تحریک آندی می‌باشد، با این تفاوت که برای احساس خارش اولیه، جریان فقط در ۳۰ ثانیه اول وارد و سپس در طول آزمایش قطع شد.

آزمودنی‌ها با کمترین ارتباط با آزمون‌گر، دو نوع مختلف از تحریک TDCS (تحریک آندی، شم) را طی سه جلسه روی قشر پیش پیشانی خلفی جانبی با شدت ۲ میلی آمپر و به مدت ۱۵ دقیقه دریافت می‌کنند (تیو و همکاران، ۲۰۱۱). برای به حداقل رسانیدن انتقال تأثیرات مراحل آزمون، حداقل ۲۴ ساعت فاصله بین جلسات در نظر گرفته شد. پس از پایان جلسات تحریک مجدداً آزمون 2-back توسط شرکت کنندگان اجرا شد.

در تجزیه و تحلیل داده‌ها، پس از انجام مقدمات توصیفی داده‌ها (میانگین، انحراف معیار) جهت پی بردن به این موضوع که مداخله انجام شده منجر به تغییر معنادار میانگین-های زمان واکنش و تعداد پاسخ‌های صحیح در مرحله‌ی پس‌آزمون شده است یا نه از تحلیل کوواریانس تک‌متغیری[26] به وسیله نرم افزار آماری SPSS استفاده شد.

[25]. Executive Function

[26]. Analysis of Covariance (ANCOVA)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.23455780.1393.2.2.2.7]

جدول ۱. میانگین و انحراف استاندارد متغیرهای مورد مطالعه در پیش‌آزمون و پس‌آزمون به تفکیک گروه

متغیر	نوبت آزمون	گروه آزمایش		گروه کنترل	
		میانگین	SD	میانگین	SD
زمان واکنش	پیش‌آزمون	۹/۳۴	۴۹/۹۱	۹/۳۵	۴۸/۳۳
	پس‌آزمون	۵/۸۸	۱۷۸/۳۲	۹/۳۲	۴۶/۴۴
پاسخ صحیح	پیش‌آزمون	۶۰/۵۳	۱/۶۲	۶۰/۵۳	۱/۶۸
	پس‌آزمون	۱۰۷/۶۰	۵/۰۱	۶۰/۵۳	۱/۶۴

جدول ۲. نتایج تحلیل کوواریانس تأثیر تحریک آندی بر زمان واکنش

منبع اثر	مجموع مجذورات	درجه آزادی	میانگین مجذورات	F	معناداری
پیش‌آزمون	۱۱۵۷۲/۲۴	۱	۱۱۵۷۲/۲۴	۰/۶۷۴	۰/۴۱۹
گروه	۸۸۶۷۴۵/۲۴	۱	۸۸۶۷۴۵/۲۴	۵۱/۶۱	۰/۰۰۱
خطا	۴۶۳۸۴۶/۰۲	۲۷	۱۷۱۷۹/۴۸	–	–

جدول ۳. نتایج تحلیل کوواریانس تأثیر تحریک آندی بر پاسخ‌های صحیح

منبع اثر	مجموع مجذورات	درجه آزادی	میانگین مجذورات	F	معناداری
پیش‌آزمون	۲/۱۵	۱	۲/۱۵	۰/۱۵	۰/۷۰
گروه	۱۶۶۱۴/۵۳	۱	۱۶۱۶۱۴/۵۳	۱۱۵۸/۶۳	۰/۰۰۱
خطا	۳۸۷/۱۷	۲۷	۱۴/۳۴	–	–

یافته‌ها

یافته‌های توصیفی مربوط به نمرات آزمودنی‌های گروه‌های آزمایش و کنترل در پیش‌آزمون و پس‌آزمون متغیرهای وابسته در جدول ۱ ارائه شده است.

بررسی تأثیر تحریک آندی بر زمان واکنش

جهت پی بردن به این موضوع که مداخله انجام شده منجر به تغییر معنادار میانگین‌های زمان واکنش در مرحله‌ی پس‌آزمون شده است یا نه از تحلیل کوواریانس تک‌متغیری استفاده شد.

بر اساس اطلاعات جدول ۲ اثر عامل مداخله، در مورد زمان واکنش از لحاظ آماری معنادار است و متغیر مستقل باعث ایجاد تفاوت در این متغیر بین گروه‌ها شده است.

بررسی تأثیر تحریک آندی بر پاسخ‌های صحیح

بر اساس اطلاعات جدول ۳ اثر عامل مداخله، در مورد پاسخ‌های صحیح از لحاظ آماری معنادار است و متغیر مستقل باعث ایجاد تفاوت در این متغیر بین گروه‌ها شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

برای پاسخگویی به فرض‌های پژوهش، میزان تغییرات نمره حافظه‌ی کاری که با تکلیف کامپیوتری 2-back سنجیده شد، در حالت تحریک آندی و ساختگی با هم مقایسه شد. نتایج حاصل از آنالیز آماری نشان داد که تفاوت تغییرات بین حالت تحریک آندی (فعال) نسبت به تحریک ساختگی (شم یا کنترل) معنادار است. بدین معنی که ۱۵ دقیقه تحریک آندی کرتکس پیش پیشانی خلفی جانبی (DLPFD) چپ با شدت جریان ۲ میلی آمپر، حافظه‌ی کاری افراد را در مقایسه با تحریک ساختگی به شکل معناداری افزایش داد. افزایشی که هم در دقت و هم در سرعت واکنش بود.

نتایج تحلیل آماری نشان داد که گروه تحریک آندی به طور معناداری عملکرد بهتری نسبت به گروه کنترل در زمان واکنش داشتند؛ به عبارت دیگر ۱۵ دقیقه تحریک دو میلی آمپری موجب کاهش زمان واکنش شد.

این یافته همسو با یافته مارشال[27] و همکاران (۲۰۰۵) است با این تفاوت که در آن تحقیق بین جلسات تحریک یک هفته فاصله بود و به جای تکلیف n-back از تکلیف استرنبرگ استفاده شده بود و همچنین هماهنگ با یافته‌ی تئو و همکاران (۲۰۱۱) است؛ هرچند از شدت جریان یک ملی آمپر و تکلیف سه عدد به عقب استفاده شده بود. سرعت واکنش در پاسخ به تکلیف دو عدد به عقب در مطالعه‌ی مالکوینی و همکاران (۲۰۱۱) نیز کاهش یافت که در راستای این

[27]. Marshal

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.23455780.1393.2.2.2.7]

پژوهش است، هرچند از شدت جریان یک میلی آمپر استفاده شده بود. ولی در تکلیف یک عدد به عقب تغییری گزارش نکردند. همچنین نتایج همسو با یافته گلدوین[۲۸] و همکاران (۲۰۱۲) است که در آن آزمون تداعی ضمنی سرعت واکنش در شرایط متجانس کاهش یافت.

در مطالعه‌ی فرگنی و همکاران (۲۰۰۵) و نیز اوهن و همکاران (۲۰۰۷) زمان واکنش تغییری نداشت که می‌تواند ناشی از تکلیف سخت‌تر (3-back) نسبت به تکلیف این پژوهش (2-back) و شدت جریان کمتر یعنی یک میلی آمپر باشد به طوری‌که تحریک پذیری قشری لازم برای پاسخ‌گویی سریع‌تر به تکلیف سخت‌تر را فراهم نکرده‌است. در پژوهش باجیو و همکاران (۲۰۰۶) بر روی بیماران پارکینسون نیز در حالتی که شدت جریان یک میلی آمپر و تکلیف 3-back بود، بهبودی در زمان واکنش دیده نشد. یک فرض این است که تأثیرات مشاهده شده ناشی از افزایش در تحریک پذیری کرتکسی در DLPFC چپ باشد زیرا تحریک آندی با دپلاریزه کردن نورونی موجب تغییر در استراحت نورونی می‌شود و تحریک پذیری آن ناحیه را افزایش می‌دهد. ممکن است شبکه‌های کرتکسی تشکیل دهنده انتخاب پاسخ بیشتر از اعمال حافظه‌ی کاری تحت تأثیر TDCS قرار گیرند (مارشال و همکاران، ۲۰۰۵)؛ یعنی شبکه‌هایی که در انواع دیگر تکالیف شناختی درگیر هستند. فرض دیگر می‌تواند نقش دوپامین در حافظه‌ی کاری باشد، مطالعات اخیر نشان می‌دهد که در طول تکلیف مرتبط با حافظه‌ی کاری، دوپامین در نواحی پیش پیشانی افزایش می‌یابد (باجیو و همکاران، ۲۰۰۵)؛ یعنی افزایش تحریک پذیری سطحی در کرتکس پیش پیشانی موجب افزایش در رهاسازی دوپامین شود که خود موجب بهبود عملکرد حافظه‌ی کاری می‌شود. ممکن است تحریک دوپامینرژیک برای حفظ فعالیت کرتکس پیش پیشانی و فرایندهای حافظه‌ی کاری ضروری باشد؛ بنابراین TDCS آندی موجب آثار بهبود تحریکی می‌شود که آن شاید سطوح گلوتامات، آمینو اسید مرتبط با حافظه‌ی کاری، بازشناسی حافظه و یادگیری محرک – پاسخ را افزایش می‌دهد (اولیویرا و همکاران، ۲۰۱۳). شرکت کنندگان این پژوهش همگی راست برتر بودند که می‌تواند نشان دهنده برتری نسبی نیمکره چپ مغز باشد. به نظر می‌رسد که در اثر تحریک آندی در DLPFC چپ، تحریک پذیری کرتکسی به میزان بیشتری افزایش یافته است و این برتری نسبی بیشتر نمایان شده و موجب بهبود در برخی کارکردها از جمله زمان واکنش شود. پژوهش‌های مختلفی اثربخشی TDCS بر ناحیه‌ی DLPFC بر کارکردهای شناختی از جمله حافظه، زبان، یادگیری و توجه را نشان داده‌اند؛ یعنی ممکن است تحریک این ناحیه باعث بهبود کارکردهای شناختی شود زیرا این ناحیه با فعالیت‌ها و کنش‌های شناختی درگیر است که خود موجب بهبود عملکرد در تکلیف حافظه‌ی کاری شود.

فرض دیگر این پژوهش این بود که تحریک الکتریکی آندی مستقیم مغز از روی جمجمه (TDCS) بر کرتکس پیش پیشانی خلفی جانبی موجب تغییر در تعداد پاسخ‌های صحیح می‌شود. نتایج تحلیل آماری نشان داد که ۱۵ دقیقه تحریک دو میلی آمپری موجب افزایش تعداد پاسخ‌های صحیح شد. این یافته هماهنگ با یافته‌ی فرگنی و همکاران (۲۰۰۵) است که در آن از تکلیف 3-back استفاده شده بود و همچنین هماهنگ با تحقیق باجیو و همکاران (۲۰۰۶) است که از تحریک ۲ میلی آمپر استفاده کردند؛ ولی مغایر با همان تحقیق است در حالتی‌که از شدت جریان یک میلی آمپر استفاده شد و حافظه‌ی کاری بیماران پارکینسون بهبود نیافت. این موضوع می‌تواند ناشی از شدت جریان پایین‌تر باشد و همچنین فاصله‌ی بین جلسات تحریک ۴۸ ساعت بود که دو برابر فاصله‌ی تحقیق حاضر است.

در پژوهش اوهن و همکاران (۲۰۰۷) نیز بهبود حافظه‌ی کاری گزارش شد با این تفاوت که از شدت جریان یک میلی آمپر و مدت زمان ۲۰ دقیقه تحریک و تکلیف سه عدد به عقب استفاده شد، در حالی‌که در این تحقیق شدت جریان دو میلی آمپر و مدت زمان تحریک ۱۵ دقیقه بود و از تکلیف دو عدد به عقب استفاده شد.

نتیجه‌ی پژوهش حاضر مغایر با پژوهش تئو و همکاران (۲۰۱۱) است که در آن دقت اجرای تکلیف تغییری نداشت. این موضوع می‌تواند ناشی از شدت جریان پایین تحریک یعنی یک میلی آمپر باشد و نیز شاید ناشی از این باشد که در آن تحقیق از دو تکلیف n-back و استرنبرگ به طور همزمان استفاده شده است، زیرا به نظر می‌رسد فرایندهای شناختی درگیر در n-back از برخی جنبه‌ها متفاوت با تکلیف استرنبرگ است. انجام n-back نیازمند نگهداری اطلاعات مرتبط و مقایسه با محرک ارائه شده است، در حالی‌که در تکلیف استرنبرگ شرکت کنندگان ممکن است در شروع جست و جو برای مقایسه‌ی مجموعه‌ها، نگهداری را رها کنند؛ بنابراین ممکن است TDCS به کار رفته در

[28]. Gladwin

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.23455780.1393.2.2.2.7]

DLPFC هنگامی موجب تغییر بزرگ‌تر در حافظه‌ی کاری شود که تکلیف نیازمند فرایندهای شناختی منسجم متوالی است. پس تحریک پذیری کرتکسی بزرگ‌تری برای انجام تکلیف n-back نیازمند است تا منجر به بهبود معناداری در دقت و زمان واکنش اجرای تکلیف 3-back شود؛ اثری که در مورد تکلیف استرنبرگ دیده نمی‌شود.

نتایج حاضر همچنین مغایر با یافته‌ی مایلیوس[۲۹] و همکاران (۲۰۱۱) است که با وجود جریان دو میلی آمپری تغییری از بهبود حافظه‌ی کاری گزارش نشده است که می‌تواند ناشی فاصله‌ی یک هفته‌ای بین جلسات تحریک باشد.

یافته‌های این پژوهش هماهنگ با یافته‌های بریهیل[۳۰] و جونز (۲۰۱۲) در گروه تحصیلات بالا و مغایر با نتیجه‌ی همان تحقیق در گروه تحصیلات پایین است که می‌تواند ناشی از چرخه‌ی متفاوت لوب پیشانی در افراد با تحصیلات بالا باشد که این چرخه واکنش شدیدتری به تحریک آندی داشته است و یا شاید بتوان کارکردهای متفاوتی از حافظه‌ی کاری در افراد دارای تحصیلات بالا را نسبت به افراد عادی یافت.

در تبیین این یافته می‌توان گفت که ممکن است افزایش تعداد پاسخ‌های صحیح ناشی از مکانیسم پتانسیل بلند مدت (LTP) باشد. مکانیسم پتانسیل بلند مدت پذیرفته‌شده‌ترین مدل پلاستیسیته نورونی است که فرض می‌شود عامل اصلی در یادگیری و حافظه است. این مکانیسم به افزایش طولانی مدت انتقال دهنده‌های عصبی اشاره دارد که می‌تواند ساعت-ها تا ماه‌ها ادامه پیدا کند که ناشی از فعالیت همزمان سلول-های پیش سیناپسی و پس سیناپسی است (کووک[۳۱] و بلیس[۳۲]، ۲۰۰۶)؛ بنابراین TDCS آندی می‌تواند با افزایش فعالیت پیش سیناپسی همراه با دپولاریزه کردن پس سیناپسی موجب LTP شود. آثار فیزیولوژیکی و سلولی تحریک آندی تا اندازه‌ای نشان دهنده‌ی LTP است. در حقیقت مطالعات آزمایشگاهی آثار سیناپسی TDCS را در ایجاد و تعدیل LTP نشان می‌دهند (رانیری[۳۳] و همکاران، ۲۰۱۲). یک فرض می‌تواند این باشد که TDCS آندی منجر به بهبود تحریک پذیری در DLPFC می‌شود که شاید ناشی از افزایش سطح گلوتامات باشد (کلارک و همکاران، ۲۰۱۱). آمینو اسیدی که با حافظه‌ی کاری، بازشناسی حافظه و یادگیری پاسخ به محرک مرتبط می‌باشد (روبینز[۳۴] و همکاران، ۲۰۰۶). به نظر می‌رسد تأثیرات تسهیل کنندگی بعدی TDCS بر اساس تغییرات در گیرنده NMDA باشد (لیبتانز، ۲۰۰۳). نتایج نشان می‌دهد که گیرنده‌های NMDA در کرتکس برای رمزگردانی ادراکی ضروری نیستند اما برای ایجاد پلاستیسیته سیناپسی مورد نیاز در ذخیره بلند مدت لازم اند، بنابراین به نظر می‌رسد مکانیسم‌های گلوتامات فرایندهای حافظه را تعدیل می‌کنند (روبینز و همکاران، ۲۰۰۶)

همچنین جریان ثابت الکتریکی می‌تواند موجب تغییرات در غلظت یونی محلی شود که سبب تغییر پروتئین‌های عبوری از غشا و نیز تغییرات در یون هیدروژن مثبت (H+) شود (باربی، ۲۰۱۳) و عوامل بهبود تحریک پذیری را در پی داشته باشد. فرض دیگر می‌تواند تحریک شدن قسمت‌های دیگر با تحریک ناحیه‌ی DLPFC باشد (جوادی[۳۵] و چنگ[۳۶]، ۲۰۱۳) که باعث بهبود مهارت‌های برنامه ریزی، توانایی یادگیری و سیالی کلامی شود که هر کدام با تقویت حافظه مرتبط هستند. همچنین دقت حافظه‌ی کاری می‌تواند توسط فرایندهای شناختی از قبیل رمزگردانی، نگهداری، انتخاب و تصمیم گیری که مرتبط با کارکردهای DLPFC هستند، تعدیل شود.

منابع

Baddeley, A.D. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? Trends in Cognitive Sciences, 4, 11, 417-423.

Baddeley, A.D. (2003). Working Memory Looking back and looking forward. Nature Reviews - Neuroscience, 4, 829-839.

Barbey, A.K., Koenigs, M., & Grafman, J. (2013). Dorsolateral prefrontal contributions to human working Memory. Cortex, 9, 195-220.

Berryhill, E., & Jones, T. (2012). TDCS selectively improves working memory in older adults with more education. Neuroscience Letters, 521, 148-151.

Boggio, P.S., Ferrucci, R., Sergio Rigonatti, S.P., Covre, P., Nitzche, M., Leone, A.P., & Fregni, F. (2006). Effects of Trans cranial direct current stimulation on working memory in patients with Parkinson's disease. Journal of the Neurological Sciences, 249, 31-38.

Clark, V.P., Coffman, B.A., Trumbo, M.C., &

29. Mylius
30. Berryhill
31. Cooke
32. Bliss
33. Ranieri

34. Robbins
35. Javadi
36. Cheng

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.23455780.1393.2.2.2.7]

Oliveira, J.F., Tamires, A., Zan, A.T., Valiengo, L., Lotufo, P., Bense, I.M., Fregni, F., & Brunoni, A.R. (2013). Acute working memory improvement after tDCS in antidepressant-free patients with major depressive disorder. Neuroscience Letters, 537, 60–64.

Paulo, S., Boggio., R, Ferrucci., Sergio, P.R., Priscila, C., Michael, N., Alvaro, P.L., & Felipe, F. (2006). Effects of transcranial direct current stimulation on working memory in patients with Parkinson's disease. Journal of the Neurological Sciences, 249, 31–38.

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

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

Robson, A.J. (2012). Analogical Reasoning and Working Memory, Durham theses, Durham University. Available at Durham E-Theses Online: http://etheses.dur.ac.uk/3625/

Teo, F., Hoy, K., Daskalakis, Z., & Fitzgerald, P. (2011). Investigating the role of current strength in TDCS modulation of working memory performance in healthy controls. Frontiers in Psychiatry, 2, 1-6.

Zaehle, T., Sandmann, P., & Thorne, J. D. (2011). Transcranial direct current stimulation of the prefrontal cortex modulates working memory performance: combined behavioural and electrophysiological evidence. BMC Neuroscince, 12, 2.

Gasparovic, C. (2011). Transcranial direct current stimulation (tDCS) produces localized and specific alterations in neurochemistry: a (1) H magnetic resonance spectroscopy study, Neuroscience Letters, 500, 67–71.

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

Fregni, F., Boggio, P.S., Nitsche, M., Bermpohl, F., Antal, A., & Feredoes, E. (2005). Anodal transcranial direct current stimulation of prefrontal cortex enhances working memory. Exp Brain Res, 166, 23–30.

Gladwin, T.A., Uyl, T.E., & Wiers, R.W. (2012). Anodal tDCS of dorsolateral prefontal cortex during an Implicit Association Test. Neuroscience Letters, 517, 82– 86.

Javadi, A.H. & Cheng, P. (2013). Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) Enhances Reconsolidation of Long-Term Memory. Brain Stimulation, 6, 668-674.

Liebetanz, D., Nitsche, M.A., Tergau, F., & Paulus, W. (2002). Pharmacological approach to the mechanisms of transcranial DC-stimulation-induced after-effects of human motor cortex excitability. Brain, 125, 2238–2247.

Marshall, L., Matthias, M., Hartwig, R., & Siebner. J.B. (2005) Bifrontal transcranial direct current stimulation slows reaction time in a working memory task. BMC Neuroscience, 6, 23.

Mulquiney, P.G., Hoy, E.K. Daskalakis, Z.J. & Fitzgerald, P.B. (2011). Improving working memory: Exploring the effect of transcranial random noise stimulation and transcranial direct current stimulation on the dorsolateral prefrontal cortex. Clinical Neurophysiology, 122, 2384-2389.

Mylius, V., Jung, K. Menzler, A., Haag, P.H., Khader, W.H., Oertel, F., Rosenow, J. & Lefaucheur, P. (2012). Effects of transcranial direct current stimulation on pain perception and working memory. Europaen Journal of Pain, 16, 974-982.

Nitsche, M.A., Lampe, C., Antal, A., Liebetan, D., Lang, N., Tergau, F., & Paulus, W. (2006). Dopaminergic modulation of long-lasting direct current-induced cortical excitability changes in the humanmotor cortex. Eur. Journal Neurosci, 23, 1651–1657.

Nitsche, M.A., Seeber, A., Frommann, K., Klein, C.C., Rochford, C., Nitsche, M.S., Fricke, K., Liebetanz, D., Lang, N., Antal, A., Paulus, W., & Tergau, F. (2005). Modulating parameters of excitability during and after transcranial direct current stimulation of the human motor cortex. Journal Physiol, 568, 291–303.

Ohn, SH., Park, C., Yoo, W., Ko, M., Choi, K.P., & Kim, G. (2008). Time-dependent effect of transcranial direct current stimulation on the enhancement of working memory. Neuroreport, 19, 43–47.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.23455780.1393.2.2.2.7]