

## Effect of Transcranial Direct Current Stimulation on Working Memory

Sahand Nazeri\*<sup>1</sup>, Ali Mohammadzadeh<sup>2</sup>, Seyyed Mehdi Tabatabaee<sup>3</sup>, Asghar Reza Soltani<sup>4</sup>

1. Student Research Committee, MSc Student in Audiology, School of Rehabilitation, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
2. Assistant Professor, Department of Audiology, School of Rehabilitation, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
3. Lecturer of Biostatistics, Department of Basic Sciences, School of Rehabilitation, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
4. Professor, Department of Physiotherapy, School of Rehabilitation, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Received: 2018.November.05

Revised: 2019.January.22

Accepted: 2019.March.11

### Abstract

**Background and Aims:** Working memory as a cognitive performance is responsible for keeping transient information and manipulating and using them in thinking process. Working memory, like other cognitive abilities, can be impaired due to various factors such as diseases, psychological disorders, and aging. Therefore, it is very important to find ways to compensate these weaknesses. Transcranial direct current stimulation, among the most recent proposed methods, seems to be a promising method. The aim of the present study was to investigate the effects of anodal transcranial direct current stimulation on working memory in healthy individuals.

**Materials and Methods:** Literature was searched for the studies investigating the effects of transcranial direct current stimulation on working memory in PubMed, Scopus, Science Direct, and Web of Knowledge databases from among the papers published between 2000-2018 using the following keywords: "Working memory", "Healthy people", "Dorsolateral prefrontal cortex", and "Transcranial direct current stimulation". Out of the 70 papers obtained, 36 articles were selected based on inclusion and exclusion criteria. Among those articles, 14 were specifically related to the subject of the present research and thus were further examined.

**Results:** The results reported in most of the studies indicated that anodal transcranial direct current stimulation can significantly improve the performance of working memory. Also, the electrical stimulation, together with cognitive tasks, is more effective as compared with single electrical stimulation.

**Conclusion:** Transcranial direct current stimulation can improve cognitive performances, especially working memory in healthy people, by modulating the electrical activities in the dorsolateral prefrontal cortex. However, further studies are required, especially on the elderly population whose cognitive abilities are diminished with age.

**Keywords:** Transcranial direct current stimulation; Working memory; Prefrontal cortex

**Cite this article as:** Sahand Nazeri, Ali Mohammadzadeh, Seyyed Mehdi Tabatabaee, Asghar Reza Soltani. Effect of Transcranial Direct Current Stimulation on Working Memory. J Rehab Med. 2019; 8(3):250-259.

\* **Corresponding Author:** Sahand Nazeri. Student Research Committee, MSc Student in Audiology, School of Rehabilitation, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran  
Email: Sahandnazeri@gmail.com

DOI: 10.22037/jrm.2019.111430.1987

## تأثیر تحریک الکتریکی جریان مستقیم بر حافظه‌ی کاری

سه‌ند ناظری<sup>۱\*</sup>، علی محمدزاده<sup>۲</sup>، سید مهدی طباطبایی<sup>۳</sup>، اصغر رضا سلطانی<sup>۴</sup>

۱. کمیته پژوهشی دانشجویان، دانشجوی کارشناسی ارشد شنوایی‌شناسی، دانشکده علوم توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
۲. گروه شنوایی‌شناسی، دانشکده علوم توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
۳. مربی آمار زیستی، گروه علوم پایه، دانشکده علوم توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
۴. استاد گروه فیزیوتراپی، دانشکده علوم توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

پذیرش مقاله ۱۳۹۷/۱۲/۲۰ \*

بازنگری مقاله ۱۳۹۷/۱۱/۰۲

\* دریافت مقاله ۱۳۹۷/۰۸/۱۴

### چکیده

#### مقدمه و اهداف

حافظه‌ی کاری کارکردی شناختی است که مسئول حفظ اطلاعات آنی، دستکاری و استفاده از آنها در فرآیند تفکر می‌باشد. حافظه‌ی کاری نیز مانند سایر توانایی‌های شناختی می‌تواند در اثر عوامل مختلفی از قبیل بیماری‌ها، آسیب‌های روانی و پیری دچار ضعف عملکرد و اختلال شود؛ از این رو تلاش به منظور یافتن روش‌هایی برای جبران این ضعف‌ها بسیار حائز اهمیت است. در میان نوین‌ترین روش‌های پیشنهادشده، تحریک الکتریکی جریان مستقیم از طریق جمجمه جایگاه ویژه‌ای دارد. هدف مطالعه حاضر مرور اثرات تحریک الکتریکی جریان مستقیم آندی بر حافظه‌ی کاری در افراد سالم می‌باشد.

#### مواد و روش‌ها

در مطالعه‌ی حاضر، مقالات مختلف در زمینه‌ی تأثیر تحریک الکتریکی جریان مستقیم بر حافظه‌ی کاری در پایگاه‌های اطلاعاتی Scopus، PubMed Science Direct، Web of Knowledge و در فاصله‌ی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ میلادی مورد بررسی قرار گرفتند. جست‌وجو در پایگاه‌های فوق با استفاده از کلیدواژه‌های "Dorsolateral Prefrontal Cortex"، "Healthy People"، "Working Memory" و "Transcranial Direct Current Stimulation" انجام شد. از میان ۷۰ مقاله‌ی یافت‌شده، ۳۶ مقاله با در نظر گرفتن معیارهای ورود و خروج انتخاب شد و مورد بررسی قرار گرفت که از میان آن مقالات، ۱۴ مقاله اختصاصاً در ارتباط با موضوع پژوهش بود و جزییات آنها استخراج گردید.

#### یافته‌ها

نتایج به دست آمده از اکثر مطالعات حاکی از آن است که تحریک الکتریکی آندی می‌تواند به صورت قابل توجهی باعث بهبود عملکرد حافظه‌ی کاری شود. همچنین تحریک الکتریکی در حالتی که همراه با تکالیف شناختی باشد در مقایسه با زمانی که تحریک الکتریکی به تنهایی ارائه می‌شود، بیش‌تر تأثیرگذار است.

#### نتیجه‌گیری

تحریک الکتریکی جریان مستقیم با تعدیل فعالیت‌های الکتریکی در بخش خلفی جانبی قشر پیش‌پیشانی می‌تواند منجر به بهبود عملکردهای شناختی و به ویژه حافظه‌ی کاری در افراد سالم شود. با این وجود نیاز به انجام مطالعات بیش‌تر در این حوزه به خصوص بر روی افراد سالمند که توانایی‌های شناختی آنان با افزایش سن کاهش می‌یابد، همچنان وجود دارد.

#### واژه‌های کلیدی

تحریک الکتریکی جریان مستقیم از طریق جمجمه؛ حافظه‌ی کاری؛ قشر پیش‌پیشانی

\* نویسنده مسئول: سه‌ند ناظری. دانشجوی کارشناسی ارشد شنوایی‌شناسی، دانشکده علوم توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

آدرس الکترونیکی: Sahandnazeri@gmail.com

## مقدمه و اهداف

حافظه فرآیند رمزگردانی، ذخیره‌سازی و بازیابی اطلاعات کسب‌شده و رویدادهای تجربه‌شده است. در واقع حافظه نیروی پیوند دهنده‌ی انسان به اندیشه‌ها و ادراکات است.<sup>[۱]</sup> حافظه بر اساس مدت زمان نگهداری اطلاعات به چهار دسته تقسیم می‌شود که عبارتند از: حافظه-ی حسی، حافظه‌ی کوتاه‌مدت، حافظه‌ی کاری و حافظه‌ی بلندمدت. در میان انواع مختلف حافظه، حافظه‌ی کاری به دلیل نقش برجسته‌ای که در فرآیند یادگیری، استدلال، تفکر و ادراک دارد، بسیار حائز اهمیت است.<sup>[۲،۳]</sup> حافظه‌ی کاری کارکردی شناختی است که مسئول حفظ اطلاعات آنی، دستکاری و استفاده از آنها در فرآیند تفکر، ادراک و استدلال می‌باشد. به بیانی دیگر حافظه‌ی کاری در بردارنده‌ی اطلاعاتی است که در هنگام کار بر روی یک مسئله در دسترس می‌باشد.<sup>[۴]</sup> حافظه‌ی کاری خود شامل چهار جزء است که عبارتند از: حلقه‌ی واج‌شناختی، صفحه‌ی بینایی-فضایی، مکانیسم اجرای مرکزی و انباره‌ی رویدادی. حلقه‌ی واج‌شناختی، ساختاری فرضی برای رمزگشایی اطلاعات صوتی در حافظه‌ی کاری بوده و با خاطرات کلامی فرد در ارتباط است. صفحه‌ی بینایی-فضایی در رمزگشایی اطلاعات بینایی و فضایی نقش برجسته‌ای دارد. مکانیسم اجرای مرکزی، مرکز هماهنگی و کنترل عملکرد دو جزء دیگر حافظه‌ی کاری (حلقه‌ی واج‌شناختی و صفحه‌ی بینایی-فضایی) می‌باشد. این بخش از حافظه‌ی کاری، فعالیت‌های مربوط به توجه را هماهنگ می‌سازد و علاوه بر آن بر پاسخ‌های ایجادشده توسط فرد نیز نظارت می‌کند. انباره‌ی رویدادی، اطلاعات حاصل از بخش‌های دیگر حافظه‌ی کاری را تلفیق کرده و شامل بازنمایی چندحسی اطلاعات دریافتی می‌باشد.<sup>[۲،۴]</sup>

عوامل بسیاری وجود دارد که می‌تواند بر حافظه‌ی انسان اثر گذاشته و منجر به ایجاد اختلال در عملکرد صحیح آن شود. برخی از این عوامل موثر بر حافظه در اثر ابتلا به بیماری‌های درگیرکننده سیستم عصبی و بیماری‌های روانی از قبیل آلزایمر، پارکینسون، شیزوفرنی، افسردگی ایجاد می‌شود. سایر عوامل هرچند ناشی از بیماری خاصی نیستند، اما هر فرد در طول زندگی خود می‌تواند به صورت کاملاً طبیعی با برخی از آنها مواجه شود که از مهم‌ترین آنها می‌توان به ضربات فیزیکی وارده به سر، هیجان‌ناشده‌ی شدید، ضربات روحی، سوء مصرف الکل و مواد مخدر، داروها، کم‌خوابی، استرس، رژیم‌های غذایی ناسالم و پیری اشاره کرد.<sup>[۵]</sup> روش‌های مختلفی از قبیل تکرار مداوم یک عمل جدید، یادگیری مهارت‌های جدید، ورزش و فعالیت بدنی، برقراری ارتباطات اجتماعی، تغذیه‌ی سالم، داروهای تقویت‌کننده‌ی حافظه و تحریک الکتریکی شبکه‌های مغزی دخیل در حافظه، به منظور کمک به تقویت و بازیابی قدرت حافظه گزارش شده است که به تناسب وضعیت ذهنی و روانی فرد و همچنین وضعیت حافظه وی می‌تواند به صورت مجزا و یا همراه با هم مورد استفاده قرار بگیرد.<sup>[۶،۷]</sup>

تحریک عصبی<sup>۱</sup> عبارت است از تعدیل هدفمند فعالیت سیستم عصبی که به دو صورت تهاجمی و غیرتهاجمی انجام می‌شود. تکنولوژی تحریک عصبی می‌تواند در افرادی که دچار ضعف شدید عملکرد حسی هستند، افرادی که از دردهای مزمن رنج می‌برند و همچنین افرادی که دچار کاهش شدید در عملکردهای ذهنی و شناختی هستند، منجر به بهبود کیفیت زندگی شود.<sup>[۸]</sup> یکی از روش‌های مرسوم در زمینه-ی تحریک عصبی، تحریک الکتریکی جریان مستقیم از طریق جمجمه<sup>۲</sup> می‌باشد؛ در این روش یک جریان الکتریکی ضعیف (عمدتاً ۰/۵ تا ۲ میلی‌آمپر) و ممتد از طریق دو الکترود قرار گرفته بر روی جمجمه، مناطق خاصی از قشر مغز را تحریک نموده و فعالیت نورون‌ها را تعدیل می‌نماید.<sup>[۹]</sup> این شیوه از تحریک مغزی عمدتاً به سه نوع آندی، کاتدی و کاذب<sup>۳</sup> تقسیم می‌شود که تحریک آندی سبب افزایش فعالیت عصبی نورون‌ها و تحریک کاتدی سبب کاهش فعالیت عصبی نورون‌ها می‌شود و در تحریک کاذب جریان الکتریکی برای مدت بسیار کوتاهی ارائه شده و سپس جریان قطع شده و تا پایان آزمایش جریانی ارائه نمی‌شود که از این شیوه بیشتر به عنوان کنترل در پژوهش‌ها استفاده می‌شود.<sup>[۱۰]</sup>

بسیاری از مطالعات انجام‌گرفته در این حوزه حاکی از آن است که تکنیک‌های تحریک غیرتهاجمی مغز از قبیل تحریک الکتریکی جریان مستقیم از طریق جمجمه (tDCS)، احتمالاً از طریق افزایش تحریک‌پذیری قشری می‌تواند منجر به بهبود عملکرد حافظه‌ی کاری و افزایش یادگیری در افراد سالم شود<sup>[۱۱-۱۳]</sup>، اما این نتایج تاکنون به صورت قطعی به اثبات نرسیده است.<sup>[۱۴، ۱۵]</sup> در اکثر این مطالعات تحریک الکتریکی به بخش خلفی جانبی قشر پیش پیشانی (DLPFC)<sup>۴</sup> که در برگیرنده‌ی مناطق ۹ و ۴۶ برودمن است، اعمال می‌شود که دلیل آن نقشی احتمالی این نواحی مغزی در حافظه و به ویژه حافظه‌ی کاری است.<sup>[۱۶، ۱۷]</sup> با توجه به این که تاکنون مطالعه‌ی مروری که اختصاصاً به بررسی تاثیر تحریک الکتریکی مغز بر حافظه‌ی کاری پرداخته، انجام نشده است، برآن شدیم تا در مطالعه حاضر به بررسی تاثیر تحریک الکتریکی جریان مستقیم بر حافظه‌ی کاری در افراد سالم بپردازیم.

<sup>1</sup> Neurostimulation

<sup>2</sup> Transcranial Direct Current Stimulation

<sup>3</sup> Sham

<sup>4</sup> Dorsolateral Prefrontal Cortex

## مواد و روش‌ها

جهت انجام مطالعه کنونی، مقالات مرتبط با تاثیر تحریک الکتریکی جریان مستقیم بر حافظه‌ی کاری با استفاده از کلیدواژه-های "Working Memory", "Healthy People", "Transcranial Direct Current Stimulation" و "Dorsolateral Prefrontal Cortex" در پایگاه‌های اطلاعاتی PubMed, Scopus, Science Direct و Web of Knowledge در حد فاصل سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ میلادی مورد بررسی قرار گرفت. از میان ۷۰ مقاله‌ی یافت‌شده در این زمینه در پایگاه‌های فوق، بعد از حذف مطالعاتی که در آنها افراد مورد مطالعه مبتلا به آسیب‌های مغزی یا روانی بودند و همچنین کنار گذاشتن مقالات غیرانگلیسی‌زبان که خلاصه‌ی انگلیسی آنها در دسترس نبود، در مجموع تعداد ۳۶ مقاله مورد بررسی قرار گرفت که از این میان ۱۴ مقاله کاملاً با موضوع پژوهش منطبق بود و جزئیات آنها استخراج گردید.

## یافته‌ها

یافته‌های مقاله‌ی مروری حاضر بر اساس سن افراد شرکت‌کننده در مطالعه، در قالب دو گروه مجزا جوانان و سالمندان بررسی می‌شود. لازم به ذکر است که در هر دو گروه، مطالعات بر اساس سال انتشار و به صورت صعودی مرتب شده‌اند.

### الف) افراد جوان

Fregni و همکاران در سال ۲۰۰۵ به بررسی تاثیر تحریک الکتریکی جریان مستقیم آندی و کاذب اعمال‌شده به بخش خلفی جانبی قشر پیش‌پیشانی مغز بر حافظه‌ی کاری ۱۵ دانشجوی سالم ۱۹ تا ۲۲ ساله با میانگین سنی ۲۰/۲ سال پرداختند. از این بین ۸ فرد تحریک آندی و ۷ فرد تحریک کاذب دریافت نمودند. هر فرد در این مطالعه دو نوبت تحریک الکتریکی را با شدت ۱ میلی‌آمپر و به مدت ۱۰ دقیقه دریافت کرد. در این پژوهش از آزمون n-back (3-back) برای ارزیابی حافظه‌ی کاری افراد شرکت‌کننده پیش از مداخله و پس از آن استفاده شد. نتایج حاصله نشان‌دهنده‌ی وجود اختلاف معنادار میان نتایج آزمون n-back پیش و پس از انجام مداخله و همچنین میان افراد دریافت‌کننده‌ی تحریک آندی در مقایسه با افراد دریافت‌کننده‌ی تحریک کاذب بود. این نتایج حاکی از تاثیر مثبت استفاده از تحریک الکتریکی جریان مستقیم آندی بر تقویت حافظه‌ی کاری جوانان سالم است.<sup>[۱۷]</sup>

Ohn و همکاران در سال ۲۰۰۸ به بررسی اثرات تحریک الکتریکی آندی (با شدت ۱ میلی‌آمپر) و همچنین تحریک الکتریک کاذب اعمال‌شده به ناحیه DLPFC چپ در ۱۵ فرد جوان سالم با میانگین سنی ۲۶/۵±۳/۵ سال پرداختند. تمامی شرکت‌کنندگان طی دو جلسه با فاصله‌ی زمانی ۲ هفته تحریک الکتریکی آندی و کاذب را دریافت کردند. در هر یک از جلسات تحریکی، آزمون n-back (3-back) به منظور ارزیابی حافظه‌ی کاری افراد شرکت‌کننده در مطالعه طی چهار مرتبه، قبل از ارائه تحریک، در حین ارائه‌ی تحریک، ۳۰ دقیقه پس از آن و ۲۴ ساعت پس از آن انجام شد. نتایج به دست آمده نشان داد که تحریک الکتریکی آندی با شدت ۱ میلی‌آمپر می‌تواند منجر به بهبود قابل توجه و معنادار عملکرد حافظه‌ی کاری افراد شده و تاثیر آن تا ۳۰ دقیقه پس از پایان تحریک پایدار خواهد ماند.<sup>[۱۸]</sup>

Andrews و همکاران در سال ۲۰۱۱ به بررسی ارتباط بین فعالیت‌های شناختی و تحریک الکتریکی جریان مستقیم آندی اعمال‌شده به ناحیه DLPFC چپ بر بهبود عملکرد حافظه‌ی کاری در ۱۰ فرد سالم ۲۰ تا ۵۱ ساله با میانگین سنی ۲۸/۱ سال پرداختند. تمامی شرکت‌کنندگان تحریک الکتریکی با شدت ۱ میلی‌آمپر را در سه وضعیت متفاوت با فواصل یک هفته‌ای دریافت نمودند: تحریک الکتریکی فعال (آندی) و کاذب به مدت ۱۰ دقیقه در حین انجام تکالیف n-back و همچنین تحریک الکتریکی فعال به مدت ۱۰ دقیقه در حالت استراحت. قبل از هر وضعیت و بعد از آن، آزمون‌های Forward and Backward Digit Span به صورت شفاهی توسط آزمایش‌گر انجام شد. هدف از انجام این مطالعه بررسی تاثیر استفاده‌ی توأم از تحریک الکتریکی جریان مستقیم آندی و تکالیف شناختی n-back بر حافظه‌ی کاری، در مقایسه با استفاده‌ی منفرد از تحریک الکتریکی آندی بود. بر اساس نتایج به دست آمده هنگامی که تحریک الکتریکی آندی همراه با انجام تکالیف n-back باشد، منجر به بهبود عملکرد افراد در آزمون Forward Digit Span در مقایسه با دو وضعیت دیگر می‌شود. با این وجود هیچ نتیجه‌ی معناداری در ارتباط با آزمون Backward Digit Span یافت نشد. در توضیح علت احتمالی اختلاف میان نتایج آزمون‌های Forward and Backward Digit Span می‌توان به کاهش تاثیر تحریک الکتریکی با گذشت زمان و همچنین کوتاه بودن مدت زمان اعمال تحریک الکتریکی اشاره کرد. از آن جایی که در این مطالعه، بعد از اعمال تحریک الکتریکی، ابتدا آزمون Forward Digit Span و سپس Backward Digit Span انجام شد، تحریک الکتریکی جریان مستقیم نمی‌توانست نتایج آزمون Backward Digit Span را به صورت قابل توجه متاثر سازد. علی‌رغم تفاوت‌های موجود در زمینه‌ی تاثیر تحریک الکتریکی بر نتایج دو آزمون عددی انجام شده، نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که استفاده‌ی هم‌زمان از تحریک الکتریکی و فعالیت‌های شناختی می‌تواند منجر به افزایش کارایی و تاثیرگذاری تحریک الکتریکی جریان مستقیم شود.<sup>[۱۶]</sup>

Mulquiney و همکاران در سال ۲۰۱۱ به بررسی این موضوع پرداختند که آیا تحریک نویز تصادفی فراجمجمه‌ای (tRNS)<sup>۱</sup> اعمال شده به ناحیه DLPFC در مقایسه با تحریک الکتریکی آندی مرسوم و هم‌چنین تحریک الکتریکی کاذب می‌تواند منجر به بهبود چشمگیر عملکرد حافظه‌ی کاری در افراد جوان شود یا خیر. در این پژوهش ۱۰ فرد جوان با میانگین سنی  $29 \pm 5/7$  سال در سه وضعیت (تحریک الکتریکی آندی، تحریک الکتریکی کاذب و تحریک نویز تصادفی) هم‌زمان با انجام تکالیف شناختی استرنبرگ، با فاصله‌ی زمانی یک هفته مورد مطالعه قرار گرفتند. تمامی شرکت‌کنندگان در هر یک از وضعیت‌های فوق طی دو مرتبه (قبل از دریافت تحریک و پس از آن) توسط آزمون n-back تحت بررسی قرار گرفتند و سرعت و صحت عملکرد آنان ارزیابی شد. تنها نتیجه معنادار به دست آمده حاکی از آن بود که تحریک الکتریکی آندی (۱ میلی‌آمپر) منجر به بهبود چشمگیر سرعت عملکرد افراد در آزمون (2-back) n-back می‌شود. سایر نتایج بهبود معناداری را نشان ندادند [۱۹].

Zaehle و همکاران در سال ۲۰۱۱ اثرات تحریک الکتریکی جریان مستقیم (۱ میلی‌آمپر) را بر عملکرد حافظه‌ی کاری و فعالیت عصبی ۱۰ فرد جوان مورد بررسی قرار دادند. ابتدا تمامی افراد شرکت‌کننده در مطالعه تحریک الکتریکی کاذب را دریافت نمودند و پس از گذشت یک هفته به صورت تصادفی ۵ نفر تحریک الکتریکی آندی و سایرین تحریک الکتریکی کاتدی دریافت کردند. در هر دو مرحله تمامی افراد پس از دریافت تحریک، توسط آزمون شناختی Letter n-back مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج حاصل نشان داد که تحریک الکتریکی آندی احتمالاً از طریق تعدیل فعالیت‌های عصبی مغز در نواحی مورد تحریک می‌تواند منجر به بهبود قابل توجه و معنادار عملکرد حافظه‌ی کاری افراد شود، در حالی که تحریک کاتدی اثر عکس داشته و باعث تضعیف قابل توجه عملکرد حافظه‌ی کاری افراد می‌شود [۲۰].

Hoy و همکاران در سال ۲۰۱۳ به بررسی تاثیر دوز (شدت جریان) مورد استفاده در تحریک الکتریکی اعمال شده به قشر پیش پیشانی بر بهبود حافظه‌ی کاری ۱۸ جوان سالم با میانگین سنی  $24/7 \pm 6/9$  سال پرداختند. هر یک از افراد مورد مطالعه طی سه جلسه در یک بازه‌ی زمانی سه هفته‌ای تحریک الکتریکی آندی را با شدت‌های متفاوت (۱ میلی‌آمپر، ۲ میلی‌آمپر و تحریک کاذب) دریافت کردند. به منظور ارزیابی عملکرد حافظه‌ی کاری افراد، هر فرد پس از اتمام هر جلسه‌ی تحریکی، توسط آزمون n-back مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج مطالعه حاکی از آن بود که تحریک آندی با شدت ۱ میلی‌آمپر در مقایسه با تحریک آندی با شدت ۲ میلی‌آمپر و تحریک کاذب بیش‌ترین تاثیر را در ارتقا عملکرد حافظه‌ی کاری افراد داشت. این نتیجه هرچند برخلاف پیش‌بینی‌ها و نتایج مطالعات قبلی بود، اما توانست به بیان رویکرد جدیدی در زمینه مکانیسم‌های احتمالی کارکرد تحریک الکتریکی مغز بپردازد [۲۱].

Giglia و همکاران در سال ۲۰۱۴ به بررسی مقایسه‌ای تاثیر تحریک الکتریکی جریان مستقیم ارائه شده به ناحیه DLPFC راست و چپ بر عملکردهای شناختی بینایی-فضایی ۱۰ فرد جوان با میانگین سنی  $27 \pm 2/3$  سال پرداختند. از تمام افراد مورد مطالعه خواسته شده بود که یک تکلیف مربوط به حافظه بینایی-فضایی را در سه وضعیت به انجام رسانند. این سه وضعیت عبارت بودند از حالت پایه (بدون دریافت تحریک)، هنگام ارائه‌ی تحریک الکتریکی آندی به قشر پیش پیشانی راست و هنگام ارائه‌ی تحریک الکتریکی آندی به قشر پیش پیشانی چپ. هم‌چنین تمامی افراد مورد مطالعه یک جلسه تحریک الکتریکی کاذب را به عنوان کنترل دریافت کردند. لازم به ذکر است که جلسات تحریکی به فاصله‌ی یک هفته از یکدیگر بود. نتایج به دست آمده نشان داد که فقط تحریک الکتریکی آندی اعمال شده به قشر پیش پیشانی سمت راست باعث بهبود عملکرد افراد در تکالیف شناختی بینایی-فضایی شد [۲۲].

Pope و همکاران در سال ۲۰۱۵ به بررسی این موضوع پرداختند که آیا تحریک الکتریکی آندی اعمال شده به بخش DLPFC چپ می‌تواند سبب بهبود عملکرد حافظه‌ی کاری در هنگام تکالیف شناختی پیچیده شود یا خیر. در این مطالعه ۶۳ فرد جوان سالم با میانگین سنی  $21/4 \pm 3/8$  سال در قالب سه گروه مجزا ولی مساوی ۲۱ نفره، سه نوع تحریک الکتریکی جریان مستقیم (تحریک آندی، کاتدی و کاذب) با شدت ۲ میلی‌آمپر را به مدت ۲۰ دقیقه دریافت کردند. تمامی افراد سه گروه طی دو نوبت (قبل از دریافت تحریک و پس از آن) توسط آزمون Pacet Auditory Serial Addition Task (PASAT) و هم‌چنین آزمون دشوارتر Pacet Auditory Serial Subtraction Task (PASST) تحت بررسی قرار گرفتند و صحت، زمان تاخیر و تغییرپذیری پاسخ‌های کلامی صحیح افراد در این دو آزمون ارزیابی و ثبت شد. تمامی بررسی‌های رفتاری حاکی از بهبود قابل ملاحظه‌ی نتایج آزمون PASST بعد از ارائه‌ی تحریک الکتریکی آندی به قشر پیش پیشانی چپ بود، در حالی که نتایج آزمون PASAT بهبود قابل ملاحظه‌ای را نشان ندادند. در واقع این نتایج نشان دهنده‌ی این است که تحریک الکتریکی آندی اعمال شده به قشر پیش پیشانی چپ منجر به بهبود انتخابی عملکرد حافظه‌ی کاری در تکالیف شناختی پیچیده می‌شود [۲۳].

<sup>1</sup> Transcranial Random Noise Stimulation

Talsma و همکاران در سال ۲۰۱۷ به بررسی اثرات چندین جلسه ارائه‌ی تحریک الکتریکی جریان مستقیم بر حافظه‌ی کاری ۳۰ فرد جوان با میانگین سنی  $21/9 \pm 2/8$  سال پرداختند. تمام افراد حاضر در این مطالعه طی سه روز متوالی تحریک الکتریکی آندی را با شدت ۱ میلی‌آمپر به مدت ۲۰ دقیقه دریافت کردند. در این مطالعه به منظور بررسی حافظه‌ی کاری افراد شرکت‌کننده، از آزمون‌های Letter n-back، Spatial n-back و Operation Span استفاده شد و این آزمون‌ها طی سه مرتبه قبل از مداخله، بعد از اولین جلسه ارائه تحریک و پس از پایان جلسات تحریکی برای هر فرد انجام شد. نتایج به دست آمده از این مطالعه بیانگر اختلاف قابل توجه و معنادار امتیاز آزمون‌های ارزیابی‌کننده‌ی حافظه در روش ارائه‌ی چندین جلسه‌ی تحریک در مقایسه با ارائه‌ی یک جلسه‌ی تحریک الکتریکی جریان مستقیم بود. در روش ارائه‌ی چندین جلسه‌ی بهبود قابل توجهی در عملکرد حافظه‌ی کاری افراد جوان مشاهده شد [۲۴].

Westwood و همکاران در سال ۲۰۱۸ به بررسی تاثیر تحریک الکتریکی جریان مستقیم اعمال شده به ژيروس پیشانی خلفی چپ (LIFG) <sup>۱</sup> بر حافظه‌ی کاری ۶۳ فرد جوان با میانگین سنی  $20 \pm 1/1$  سال پرداختند. افراد مورد مطالعه در قالب دو گروه آزمایشی (۲۰ نفر) و شاهد (۲۴ نفر)، دو نوع تحریک الکتریکی جریان مستقیم (تحریک آندی و کاذب) را طی دو جلسه ۲۵ دقیقه‌ای دریافت کردند. پژوهشگران برای بررسی عملکرد حافظه‌ی کاری افراد شرکت‌کننده پیش از مداخله و پس از آن، از آزمون Digit Span استفاده نمودند. نتایج به دست آمده هیچ اختلاف معناداری را میان نتایج آزمون Digit Span بعد از دریافت تحریک الکتریکی در مقایسه با پیش از آن نشان نداد. همچنین میان نتایج دو گروه آزمایشی و شاهد نیز اختلاف معناداری مشاهده نشد. این نتایج بیانگر عدم تاثیر تحریک الکتریکی جریان مستقیم اعمال شده به ناحیه LIFG بر حافظه‌ی کاری افراد جوان سالم است [۱۵].

#### ب) افراد سالمند

Berryhill و همکاران در سال ۲۰۱۲ به بررسی تاثیر تحریک الکتریکی جریان مستقیم اعمال شده به قشر پیش پیشانی بر حافظه‌ی کاری ۲۵ فرد سالمند سالم ۵۸ تا ۸۰ ساله با سطوح تحصیلات متفاوت پرداختند. افراد شرکت‌کننده در این مطالعه، طی سه جلسه ۱۰ دقیقه‌ای، تحریک الکتریکی جریان مستقیم را با شدت ۱/۵ میلی‌آمپر و به سه شیوه‌ی متفاوت دریافت نمودند، به گونه‌ای که هر فرد در هر جلسه یک روش تحریکی متمایز را دریافت کرد. این سه شیوه‌ی تحریک الکتریکی شامل تحریک آندی قشر پیش پیشانی چپ، تحریک آندی قشر پیش پیشانی راست و تحریک کاذب قشر پیش پیشانی راست یا چپ (در هر فرد به صورت تصادفی تحریک کاذب به یکی از دو سمت راست یا چپ ارائه شد) بود. در این مطالعه برای بررسی حافظه‌ی کاری افراد از آزمون‌های n-back (2-back) و Backward Digit Span استفاده شد. نتایج حاصله نشان داد که در افراد با سطح تحصیلات بالاتر، بعد از دریافت تحریک الکتریکی آندی چپ در مقایسه با دو روش تحریکی دیگر، امتیازات افراد در آزمون‌های فوق به صورت قابل توجهی افزایش یافت، اما در افراد با سطح تحصیلات پایین تفاوت معناداری میان نتایج آزمون‌ها در بین سه روش تحریکی مورد استفاده وجود نداشت. این نتایج نشان‌دهنده‌ی آن است که تحریک الکتریکی جریان مستقیم می‌تواند باعث بهبود کوتاه‌مدت حافظه‌ی کاری در افراد سالمند شود که این بهبود به سطح تحصیلات افراد وابسته است و با افزایش سطح تحصیلات میزان بهبود مشاهده‌شده افزایش می‌یابد [۲۵].

Jones و همکاران در سال ۲۰۱۵ به بررسی اثرات تحریک الکتریکی درازمدت بر حافظه‌ی کاری ۷۲ فرد سالمند سالم با میانگین سنی  $64/3 \pm 5$  سال پرداختند. افراد سالمند به صورت تصادفی به دو گروه مساوی آزمایشی و شاهد تقسیم شدند. تنها تفاوت میان دو گروه در نوع تحریک الکتریکی دریافتی بود که افراد گروه آزمایشی تحریک الکتریکی آندی و افراد گروه شاهد تحریک الکتریکی کاذب دریافت می‌کردند. تمامی افراد مورد مطالعه ۱۰ جلسه تحریک الکتریکی (آندی یا کاذب) را طی دو هفته دریافت نمودند. در طول این مطالعه هر فرد طی سه نوبت (قبل از شروع جلسات ارائه‌ی تحریک، در پایان آخرین جلسه و یک ماه پس از پایان جلسات تحریکی) توسط آزمون‌های Spatial 2-back و Operation and Digit Span مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان داد تنها افرادی که تحریک الکتریکی آندی دریافت کرده بودند، بهبود قابل ملاحظه‌ای را در نتایج آزمون‌های شناختی انجام‌گرفته پس از اتمام جلسات تحریکی، نشان دادند. نتایج به دست آمده در افراد دریافت‌کننده‌ی تحریک کاذب، پس از اتمام جلسات ارائه‌ی تحریک، نشان‌دهنده‌ی اختلاف معنادار نبود [۲۶].

Nilsson و همکاران در سال ۲۰۱۵ به بررسی اثرات ارائه‌ی یک جلسه‌ی تحریک الکتریکی جریان مستقیم به ناحیه DLPFC چپ بر عملکرد حافظه‌ی کاری ۳۰ فرد سالمند ۶۵ تا ۷۵ ساله با میانگین سنی  $69 \pm 0/7$  سال پرداختند. هر یک از شرکت‌کنندگان در این مطالعه طی سه جلسه به فاصله‌ی زمانی ۴۸ ساعت از یکدیگر تحریک الکتریکی جریان مستقیم آندی را در سه شدت متفاوت (۲ میلی‌آمپر، ۱ میلی‌آمپر و تحریک کاذب) دریافت کردند. به منظور بررسی عملکرد حافظه‌ی کاری، افراد مورد مطالعه طی سه نوبت (قبل از تحریک، در هنگام ارائه‌ی تحریک و پس از ارائه‌ی تحریک) توسط آزمون n-back (3-back) تصویری مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج حاصله

<sup>1</sup> Left Inferior Frontal Gyrus

نشان‌دهنده‌ی عدم وجود ارتباط قابل توجه و معنادار در زمینه‌ی تاثیر تحریک الکتریکی جریان مستقیم بر دقت و زمان پاسخگویی به مولفه‌های آزمون n-back تصویری بود و اختلاف معناداری میان نتایج آزمون n-back در سه وضعیت فوق مشاهده نشد. در توضیح این عدم اختلاف مشاهده‌شده، می‌توان به تعداد جلسات اندک تحریک الکتریکی (یک جلسه) و کافی نبودن مدت زمان ارائه‌ی تحریک، به منظور ایجاد تاثیرات عملکردی قابل ملاحظه، اشاره کرد [۱۴].

Stephens و همکاران در سال ۲۰۱۶ به بررسی تاثیر دوزهای مختلف تحریک الکتریکی جریان مستقیم به همراه تکالیف شناختی بر حافظه‌ی کاری ۹۰ فرد سالمند سالم با میانگین سنی ۶۸/۶ سال پرداختند. افراد مورد مطالعه به سه گروه مساوی ۳۰ نفره که از نظر سن، جنسیت و میزان تحصیلات همتا بودند، تقسیم شدند. هر کدام از این سه گروه به صورت تصادفی تحریک الکتریکی جریان مستقیم را به همراه تکالیف شناختی Letter Span و Operation Span طی پنج جلسه به یکی از سه شیوه‌ی تحریک آندی با شدت ۲ میلی-آمپر، تحریک آندی با شدت ۱ میلی-آمپر یا تحریک کاذب دریافت کردند. لازم به ذکر است که در تمامی افراد تحریک الکتریکی به ناحیه DLPFC راست ارائه شد. به منظور ارزیابی عملکرد حافظه‌ی کاری، افراد طی دو نوبت (قبل از شروع جلسات ارائه تحریک و یک ماه پس از آخرین جلسه ارائه‌ی تحریک) توسط آزمون شناختی n-back مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج حاصله نشان داد که امتیاز تمامی افراد سه گروه در تکالیف شناختی پس از دریافت تحریک در مقایسه با قبل از آن افزایش یافته بود و این بهبود نتایج به ویژه در گروهی که تحریک الکتریکی آندی با شدت ۲ میلی-آمپر دریافت کرده بودند، در مقایسه با دو گروه دیگر بسیار چشمگیرتر بود [۲۷].

## بحث

حافظه‌ی کاری به عنوان یکی از مهم‌ترین مکانیسم‌های ذهنی در ارتباط با تکالیف شناختی پیچیده از قبیل یادگیری، تفکر و ادراک می‌باشد که در اثر عوامل مختلفی به ویژه افزایش سن می‌تواند دچار ضعف و اختلال در عملکرد شود. [۲۸] هدف از مطالعه حاضر بررسی این موضوع است که آیا تحریک الکتریکی جریان مستقیم اعمال‌شده به بخش خلفی جانبی قشر پیش پیشانی می‌تواند از طریق افزایش تحریک‌پذیری قشری منجر به بهبود عملکرد حافظه‌ی کاری در افراد سالم شود و در صورت مثبت بودن پاسخ آیا میزان بهبود قابل ملاحظه است یا خیر.

نتایج به دست آمده از اکثر مطالعات مورد بررسی حاکی از آن است که تحریک الکتریکی جریان مستقیم آندی می‌تواند منجر به بهبود قابل ملاحظه‌ی عملکرد حافظه‌ی کاری شود و تاثیر آن هنگامی که هم‌زمان با انجام تکالیف شناختی باشد، به مراتب بیش‌تر است. در میان ۱۴ پژوهش اختصاصی مورد بررسی، در ۱۰ مطالعه پژوهشگران از آزمون n-back برای بررسی فعالیت در بخش خلفی جانبی قشر پیش پیشانی استفاده کردند. [۱۴، ۱۷-۲۱، ۲۴-۲۷] در ۴ مطالعه‌ی دیگر سایر تکالیف کلامی و بینایی-فضایی از جمله PASAT، PASST، Operation Span و Forward and Backward Digit Span مورد استفاده قرار گرفت. [۱۵، ۱۶، ۲۲-۲۳] نتایج این مطالعات نشان می‌دهد که تنها تحریک الکتریکی آندی می‌تواند باعث ایجاد نتایج قابل توجه و معنادار شود و در سایر وضعیت‌های تحریکی نتایج قابل توجهی حاصل نمی‌شود.

یافته‌های به دست آمده در ارتباط با تاثیر استفاده‌ی هم‌زمان از تحریک الکتریکی آندی و تکالیف شناختی استاندارد (از قبیل n-back) بر عملکردهای ذهنی و به ویژه حافظه‌ی کاری، راه را برای به کارگیری این شیوه به عنوان یک ابزار درمانی در شرایط بالینی هموار می‌کند. هرچند هدف مطالعه‌ی مروری حاضر، بررسی تاثیر تحریک الکتریکی جریان مستقیم بر حافظه‌ی کاری افراد سالم می‌باشد، با این وجود پرداختن به مطالعاتی که تاثیر این شیوه‌ی تحریکی را بر بیماران مورد بررسی قرار داده‌اند، در درک بهتر کارایی و گستره‌ی استفاده از این شیوه، بسیار کمک‌کننده خواهد بود؛ لذا در ادامه به اختصار برخی از این مطالعات مورد بررسی قرار خواهد گرفت. [۲۹-۳۱] از جمله Ulam و همکاران نشان دادند که استفاده از تحریک الکتریکی آندی در افراد دچار آسیب‌های تروماتیک مغزی (TBI) می‌تواند منجر به بهبود حافظه‌ی کاری آنها شود. [۲۹] Boggio و همکاران به بررسی تاثیر تحریک الکتریکی جریان مستقیم در افراد مبتلا به پارکینسون پرداختند. نتایج مطالعه آنها حاکی از آن بود که استفاده از تحریک الکتریکی آندی با شدت ۲ میلی-آمپر می‌تواند باعث افزایش صحت عملکرد افراد در آزمون‌های ارزیابی‌کننده‌ی حافظه‌ی کاری شود. در واقع آنان به این نتیجه رسیدند که تحریک الکتریکی آندی می‌تواند منجر به بهبود عملکرد حافظه‌ی کاری در افراد مبتلا به پارکینسون شود، اما میزان تاثیر آن بستگی به شدت تحریک الکتریکی مورد استفاده و محل اعمال آن دارد. [۳۰] Yun و همکاران تاثیر تحریک الکتریکی جریان مستقیم را بر عملکردهای شناختی افراد میانسال دچار سکنه مغزی مورد بررسی قرار دادند. نتایج به دست آمده حاکی از تاثیر قابل ملاحظه‌ی تحریک الکتریکی آندی در بهبود عملکردهای شناختی این افراد بود. [۳۱]

از طرفی دیگر، نتایج برخی مطالعات حاکی از آن است که تحریک الکتریکی جریان مستقیم صرفاً بر بعضی از رده‌های سنی و همچنین برخی عملکردهای خاص ذهنی تاثیرگذار است. [۱۹، ۲۳، ۲۵] Berryhill و همکاران به بررسی تاثیر تحریک الکتریکی جریان مستقیم بر

حافظه‌ی کاری افراد سالمند با در نظر گرفتن سابقه‌ی تحصیلات آنان پرداختند. گروهی که تحصیلات پایین‌تری داشتند، هیچ بهبود عملکردی را در آزمون‌های شناختی نشان ندادند، در مقابل گروهی که تحصیلات بالاتری داشتند، بهبود نسبتاً قابل ملاحظه‌ای را در نتایج آزمون‌های شناختی داشتند. برای توجیه این وضعیت پژوهشگران ادعا کردند افراد گروه تحصیل کرده با به‌کارگیری بهتر ساختارهای قشر پیش‌پیشانی، استراتژی‌های متفاوتی را در تکالیف شناختی مورد استفاده قرار می‌دهند.<sup>[۲۵]</sup> نتیجه‌ی مطالعه‌ی Berryhill و همکاران توسط برخی مطالعات قبلی تأیید می‌شود. این مطالعات حاکی آن است که افراد تحصیل کرده فعالیت بیش‌تری را در قشر پیش‌پیشانی و هم‌چنین عملکرد بهتری را در تکالیف شناختی در مقایسه با افراد بی‌سواد دارند.<sup>[۲۲، ۲۳]</sup> از نتایج مطالعات Mulquiney و همکاران و هم‌چنین Pope و همکاران می‌توان به این نتیجه رسید که تحریک الکتریکی جریان مستقیم می‌تواند شواهدی را در ارتباط با تحریک-پذیری قشری در برخی از جنبه‌های عملکردی قشر پیش‌پیشانی فراهم نماید و هم‌چنین می‌تواند به صورت انتخابی سبب بهبود عملکردهای ذهنی در تکالیف شناختی پیچیده شود.<sup>[۱۹، ۲۳]</sup>

در عین حال شواهد به دست آمده از برخی مطالعات نشان‌دهنده‌ی عدم تأثیر یا تأثیر ناچیز تحریک الکتریکی جریان مستقیم بر عملکرد حافظه‌ی کاری افراد مورد بررسی است.<sup>[۱۴، ۱۵]</sup> Westwood و همکاران تأثیر تحریک الکتریکی جریان مستقیم اعمال شده به ژيروس پیشانی خلفی چپ را بر حافظه‌ی کاری افراد جوان بررسی نمودند. نتایج به دست آمده هیچ بهبود معناداری را در عملکرد حافظه‌ی کاری افراد شرکت‌کننده بعد از دریافت تحریک الکتریکی نشان نداد.<sup>[۱۵]</sup> با توجه به این که ناحیه‌ی LIFG بیشتر به عنوان یکی از نواحی اصلی درگیر در مسائل زبانی و دستور زبان مطرح است تا حافظه‌ی کاری<sup>[۲۴]</sup>، نتایج به دست آمده از این مطالعه در زمینه اثبات عدم تأثیر تحریک الکتریکی بر بهبود عملکرد حافظه‌ی کاری، نمی‌تواند چندان کمک‌کننده باشد. نتایج مطالعه Nilsson و همکاران هرچند بیانگر عدم تأثیر قابل ملاحظه‌ی تحریک الکتریکی جریان مستقیم بر بهبود حافظه‌ی کاری افراد سالمند سالم بود<sup>[۱۴]</sup>، اما باید توجه داشت که تعداد جلسات ارائه‌ی تحریک به عنوان یک فاکتور مهم می‌تواند در میزان تأثیر تحریک الکتریکی اعمال شده نقش تعیین‌کننده‌ای داشته باشد و چنانچه پژوهشگران از تعداد جلسات تحریکی بیش‌تری استفاده می‌کردند، احتمالاً نتیجه‌ی دیگری به دست می‌آمد.<sup>[۲۵]</sup>

در میان مطالعات بررسی‌شده، ۱۰ مطالعه صرفاً افراد جوان را مورد ارزیابی قرار دادند.<sup>[۱۵-۲۴]</sup> در میان این ۱۰ مطالعه، جز در مطالعه‌ی Pope و همکاران که شدت جریان مورد استفاده ۲ میلی‌آمپر بود<sup>[۲۳]</sup>، مطالعه‌ی Hoy و همکاران که در آن از شدت جریان ۱ و ۲ میلی-آمپر استفاده شد<sup>[۲۱]</sup> و هم‌چنین مطالعه‌ی Westwood و همکاران که در آن، شدت جریان ۱/۵ میلی‌آمپر مورد استفاده قرار گرفت<sup>[۱۵]</sup>، در سایر مطالعات شدت جریان الکتریکی مورد استفاده ۱ میلی‌آمپر بود.<sup>[۱۶-۲۲، ۲۴]</sup> Hoy و همکاران دریافتند که بیش‌ترین تأثیرگذاری tDCS زمانی است که شدت جریان مورد استفاده ۱ میلی‌آمپر باشد.<sup>[۲۱]</sup> این یافته با فرضیه‌ی ابتدایی آنها در تناقض بود. بر اساس این فرضیه با افزایش شدت جریان الکتریکی مورد استفاده باید میزان بهبود عملکرد حافظه‌ی کاری افزایش می‌یافت.<sup>[۲۱]</sup> بعد از کنار گذاشتن علل تکنیکی، از دلایل احتمالی این تناقض به وجود آمده می‌توان به تعداد جلسات ارائه تحریک و هم‌چنین فاصله‌ی زمانی میان جلسات اشاره کرد. Berryhill و همکاران، Stephens و همکاران، Jones و همکاران و هم‌چنین Nilsson و همکاران در مطالعات خود تأثیر تحریک الکتریکی را بر حافظه‌ی کاری افراد سالمند مورد بررسی قرار دادند. شدت جریان الکتریکی استفاده‌شده توسط آنان به ترتیب "۱/۵"، "۲"، "۱/۵" و "۲" و "۱" میلی‌آمپر بود.<sup>[۱۴، ۲۵-۲۷]</sup> نتایج به دست آمده از این چهار مطالعه حاکی از آن است که افراد سالمند احتمالاً به شدت جریان الکتریکی بالاتر و هم‌چنین تعداد جلسات تحریکی بیش‌تری جهت نشان دادن بهبود درازمدت در عملکرد حافظه‌ی کاری خود نیاز دارند.<sup>[۱۴، ۲۵-۲۷]</sup>

با وجود این که نتایج مطالعات ارزیابی‌شده قابل اتکا است، اما نیاز به انجام مطالعات بیشتر در این حوزه، با در نظر گرفتن تفاوت‌های میان سالمندان و جوانان و هم‌چنین زنان و مردان از نظر میزان تأثیر تحریک الکتریکی بر روی کارکردهای شناختی آنان، هم‌چنان وجود دارد. هم‌چنین به منظور به حداکثر رساندن اثرات تحریک الکتریکی جریان مستقیم، انجام مطالعات بیشتر در ارتباط با شدت جریان الکتریکی مورد استفاده، مدت زمان ارائه‌ی تحریک و تعداد جلسات ارائه‌ی تحریک، مطلوب به نظر می‌رسد.

## نتیجه‌گیری

شواهد متعددی وجود دارد که تحریک الکتریکی جریان مستقیم از طریق کمک به تحریک‌پذیری بیشتر نواحی قشری مغز می‌تواند منجر به بهبود کارکردهای شناختی افراد، به ویژه حافظه‌ی کاری آنها شود. در واقع تحریک الکتریکی آندی ارائه‌شده بر پتانسیل استراحت سلول‌های عصبی اثر گذاشته و باعث دیپلاریزاسیون غشاء سلول‌های عصبی شده که نتیجه‌ی آن افزایش تحریک‌پذیری عصبی و افزایش نرخ شلیک خودبه‌خودی است<sup>[۲۶]</sup> که این خود منجر به افزایش کارایی و فعالیت در نواحی تحریکی که نقش بسیار مهمی در کارکردهای شناختی و به خصوص حافظه‌ی کاری دارند، می‌شود. این یافته‌ها زیربنای بسیار مهمی برای تحقیقات بیش‌تر در این حوزه هستند و می-



توانند در زمینه ورود هرچه سریع‌تر این روش نوین به حوزه‌ی بالینی و رفع مشکلات بیمارانی که از اختلالات مغزی و به خصوص مشکلات شناختی رنج می‌برند، بسیار کمک‌کننده باشد.

## تشکر و قدردانی

مقاله حاضر برگرفته از پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد سهند ناظری که به راهنمایی آقای دکتر علی محمدزاده و مشاوره آقایان سید مهدی طباطبایی و دکتر اصغر رضا سلطانی در دانشکده توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی در حال اجرا است، می‌باشد. در این جا بر خود لازم می‌دانیم که از حمایت‌های گروه شنوایی‌شناسی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی در انجام این مطالعه قدردانی نماییم.

## منابع

1. Alberini CM. Mechanisms of memory stabilization: are consolidation and reconsolidation similar or distinct processes? *Trends in neurosciences*. 2005;28(1):51-6.
2. Baddeley A. Working memory: theories, models, and controversies. *Annual review of psychology*. 2012;63:1-29.
3. Cowan N. What are the differences between long-term, short-term, and working memory? *Progress in brain research*. 2008;169:323-38.
4. Vandierendonck A. A Working Memory System With Distributed Executive Control. *Perspectives on psychological science : a journal of the Association for Psychological Science*. 2016;11(1):74-100.
5. Mitchell AJ. Is it time to separate subjective cognitive complaints from the diagnosis of mild cognitive impairment? *Age and ageing*. 2008;37(5):497-9.
6. Small GW, Silverman DH, Siddarth P, Ercoli LM, Miller KJ, Lavretsky H, et al. Effects of a 14-day healthy longevity lifestyle program on cognition and brain function. *The American journal of geriatric psychiatry : official journal of the American Association for Geriatric Psychiatry*. 2006;14(6):538-45.
7. Olsson H, Poom L. Visual memory needs categories. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2005;102(24):8776-80.
8. Jobst BC, Darcey TM, Thadani VM, Roberts DW. Brain stimulation for the treatment of epilepsy. *Epilepsia*. 2010;51 Suppl 3:88-92.
9. Nitsche MA, Cohen LG, Wassermann EM, Priori A, Lang N, Antal A, et al. Transcranial direct current stimulation: State of the art 2008. *Brain stimulation*. 2008;1(3):206-23.
10. Parent A. Giovanni Aldini: from animal electricity to human brain stimulation. *The Canadian journal of neurological sciences Le journal canadien des sciences neurologiques*. 2004;31(4):576-84.
11. Hummel FC, Heise K, Celnik P, Floel A, Gerloff C, Cohen LG. Facilitating skilled right hand motor function in older subjects by anodal polarization over the left primary motor cortex. *Neurobiology of aging*. 2010;31(12):2160-8.
12. Oliviero A, Profice P, Tonali PA, Pilato F, Saturno E, Dileone M, et al. Effects of aging on motor cortex excitability. *Neuroscience research*. 2006;55(1):74-7.
13. Wu T, Zang Y, Wang L, Long X, Hallett M, Chen Y, et al. Aging influence on functional connectivity of the motor network in the resting state. *Neuroscience letters*. 2007;422(3):164-8.
14. Nilsson J, Lebedev AV, Lövdén M. No Significant Effect of Prefrontal tDCS on Working Memory Performance in Older Adults. *Frontiers in aging neuroscience*. 2015;7:230-.
15. Westwood SJ, Romani C. Null Effects on Working Memory and Verbal Fluency Tasks When Applying Anodal tDCS to the Inferior Frontal Gyrus of Healthy Participants. *Frontiers in neuroscience*. 2018;12:166-.
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*. 2011;4(2):84-9.
17. Fregni F, Boggio PS, Nitsche M, Berman F, Antal A, Feredoes E, et al. Anodal transcranial direct current stimulation of prefrontal cortex enhances working memory. *Experimental brain research*. 2005;166(1):23-30.
18. Ohn SH, Park CI, Yoo WK, Ko MH, Choi KP, Kim GM, et al. Time-dependent effect of transcranial direct current stimulation on the enhancement of working memory. *Neuroreport*. 2008;19(1):43-7.
19. Mulquiney PG, Hoy KE, Daskalakis ZJ, Fitzgerald PB. Improving working memory: exploring the effect of transcranial random noise stimulation and transcranial direct current stimulation on the dorsolateral prefrontal cortex. *Clinical neurophysiology : official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*. 2011;122(12):2384-9.
20. Zaehle T, Sandmann P, Thorne JD, Jancke L, Herrmann CS. Transcranial direct current stimulation of the prefrontal cortex modulates working memory performance: combined behavioural and electrophysiological evidence. *BMC neuroscience*. 2011;12:2.
21. Hoy KE, Emonson MRL, Arnold SL, Thomson RH, Daskalakis ZJ, Fitzgerald PB. Testing the limits: Investigating the effect of tDCS dose on working memory enhancement in healthy controls. *Neuropsychologia*. 2013;51(9):1777-84.

22. Giglia G, Brighina F, Rizzo S, Puma A, Indovino S, Maccora S, et al. Anodal transcranial direct current stimulation of the right dorsolateral prefrontal cortex enhances memory-guided responses in a visuospatial working memory task. *Functional Neurology*. 2014;29(3):189-93.
23. Pope PA, Brenton JW, Miall RC. Task-Specific Facilitation of Cognition by Anodal Transcranial Direct Current Stimulation of the Prefrontal Cortex. *Cerebral cortex (New York, NY : 1991)*. 2015;25(11):4551-8.
24. Talsma LJ, Kroese HA, Slagter HA. Boosting Cognition: Effects of Multiple-Session Transcranial Direct Current Stimulation on Working Memory. *Journal of cognitive neuroscience*. 2017;29(4):755-68.
25. Berryhill ME, Jones KT. tDCS selectively improves working memory in older adults with more education. *Neuroscience letters*. 2012;521(2):148-51.
26. Jones KT, Stephens JA, Alam M, Bikson M, Berryhill ME. Longitudinal Neurostimulation in Older Adults Improves Working Memory. *PLoS ONE*. 2015;10(4):e0121904.
27. Stephens JA, Berryhill ME. Older Adults Improve on Everyday Tasks after Working Memory Training and Neurostimulation. *Brain stimulation*. 2016;9(4):553-9.
28. Baddeley A. Working memory, thought, and action. New York, NY, US: Oxford University Press; 2007. xviii, 412-xviii, p.
29. Ulam F, Shelton C, Richards L, Davis L, Hunter B, Fregni F, et al. Cumulative effects of transcranial direct current stimulation on EEG oscillations and attention/working memory during subacute neurorehabilitation of traumatic brain injury. *Clinical neurophysiology : official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*. 2015;126(3):486-96.
30. Boggio PS, Ferrucci R, Rigonatti SP, Covre P, Nitsche M, Pascual-Leone A, et al. Effects of transcranial direct current stimulation on working memory in patients with Parkinson's disease. *Journal of the neurological sciences*. 2006;249(1):31-8.
31. Yun GJ, Chun MH, Kim BR. The Effects of Transcranial Direct-Current Stimulation on Cognition in Stroke Patients. *Journal of Stroke*. 2015;17(3):354-8.
32. Grabner RH, Neubauer AC, Stern E. Superior performance and neural efficiency: the impact of intelligence and expertise. *Brain research bulletin*. 2006;69(4):422-39.
33. Solso RL. Brain Activities in a Skilled versus a Novice Artist: An fMRI Study. *Leonardo*. 2001;34(1):31-4.
34. Tyler LK, Marslen-Wilson WD, Randall B, Wright P, Devereux BJ, Zhuang J, et al. Left inferior frontal cortex and syntax: function, structure and behaviour in patients with left hemisphere damage. *Brain : a journal of neurology*. 2011;134(Pt 2):415-31.
35. Reinhart RMG, Cosman JD, Fukuda K, Woodman GF. Using transcranial direct-current stimulation (tDCS) to understand cognitive processing. *Attention, perception & psychophysics*. 2017;79(1):3-23.
36. Nitsche MA, Paulus W. Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation. *The Journal of Physiology*. 2000;533(2):27