

## تأثیر تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز بر حافظه کاری و زمان واکنش دختران

## ورزشکار

\*گل اندام زمانی<sup>۱</sup>، محمد رضا دوستان<sup>۲</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد رفتار حرکتی، دانشگاه آزاد واحد شوشتر، شوشتر، ایران.

۲. مربی رفتار حرکتی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

(تاریخ وصول: ۹۶/۰۵/۰۶ - تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۷/۲۷)

**The effect of Transcranial Direct Current Stimulation on Working Memory and Reactiontime in Athlete Girls**\*Golandam Zamani<sup>1</sup>, Mohammad Reza Doostan<sup>2</sup>

1. MA Student in Mental Movement, Shooshtar University, Shooshtar, Iran.

2. Instructor of motor behavior, ,Shahid Chamran University of Ahvaz,Ahvaz, Iran.

(Received: Jul.28, 2017- Accepted: Oct.19, 2017)

**Abstract**

**Aim:** Introduction: Techniques that directly examine and regulate the activity of the cortex can help to improve working memory and response time. The aim of this study was to investigate the effect of transcranial direct current stimulation on working memory and reaction time in athlete girls. **Method:** This study was semi-experimental method which was carried out using two groups with pre-test- and post-test design. A sample of 30 female athletes from the city of Shadegan were selected by sampling method and participated in the research process. First, a pre-test was taken. All respondents tested the reaction time and also a working memory test was taken. Subjects were randomly divided into two groups: transcranial Direct Current Stimulation and sham group. Acquisition stage was held in 2 days and a one rest day in between. **Findings:** The results showed that brain of transcranial direct current stimulation improved the progressive working memory, postoperative, mental control, logical memory, and retrieval. It also reduces the simple reaction time and selective. **Conclusion:** In a general conclusion, transcranial direct current stimulation in the prefrontal cortex in female students is one of the ways that can improve working memory and reduce the reaction time in athlete girls.

**Key words:** Working memory, reaction time, brain, transcranial direct current stimulation, cognitive processing

**چکیده**

**مقدمه:** تکنیک‌هایی که مستقیماً فعالیت قشر مغز را مورد بررسی و تنظیم قرار می‌دهند قابلیت خوبی برای بهبود حافظه کاری و زمان واکنش دارند. هدف از انجام این تحقیق بررسی تأثیر تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز بر حافظه کاری و زمان واکنش در دختران ورزشکار است. روش: اجرای این تحقیق از نوع نیمه تجربی است که با استفاده از دو گروه و با طرح پیش‌آزمون-پس‌آزمون انجام شد. تعداد ۳۰ نفر از دانش‌آموزان ورزشکار دختر شهرستان شادگان به صورت نمونه‌گیری در دسترس انتخاب و در فرایند تحقیق شرکت کردند. ابتدا یک پیش‌آزمون گرفته شد. بدین ترتیب که از تمام شرکت‌کنندگان آزمون زمان واکنش و نیز آزمون حافظه کاری به عمل آمد. پس از آن شرکت‌کنندگان به صورت تصادفی به دو گروه تحریک الکتریکی مغز و گروه کنترل تقسیم شدند. مرحله اکساب به صورت ۲ جلسه یک روز در میان برگزار شد. یافته‌ها: نتایج نشان داد که تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز مغز سبب بهبود حافظه کاری پیش‌رونده، پس‌رونده، کنترل ذهنی، حافظه منطقی، بازنگری و یادگیری تداعی‌ها شد. همچنین سبب کاهش زمان واکنش ساده و انتخابی می‌شود. نتیجه‌گیری: به طور کلی می‌توان گفت که تحریک فراجمجمه‌ای مغز با استفاده از جریان مستقیم الکتریکی در ناحیه قشر پیش‌پیشانی در دانش‌آموزان دختر یکی از راه‌هایی است که می‌تواند موجب بهبود حافظه کاری و نیز کاهش زمان واکنش در دختران ورزشکار گردد.

**واژگان کلیدی:** حافظه کاری، زمان واکنش، مغز، تحریک فراجمجمه‌ای مغز با استفاده از

جریان مستقیم الکتریکی، پردازش شناختی

حافظه کاری اشاره به نظامی دارد که هم درگیر پردازش شناختی و هم درگیر ذخیره موقت اطلاعاتی است که درگیر در جریان اجرای طیف وسیعی از تکالیف شناختی پردازش می‌شود. تکالیف شناختی با هر درجه از پیچیدگی که باشد شامل چند مرحله پردازش مختلف است و حافظه کاری این امکان را فراهم می‌کند که آخرین شکل انجام تکلیف در حافظه ذخیره و همواره در دسترس قرار گیرد (ملبی لروآگ و هولمه<sup>۱</sup>، ۲۰۱۳)

حافظه کاری امکان ذخیره‌سازی فرآیندهای واسطه‌ای شناخت و تغییر و دگرگونی‌های آنها را فراهم می‌آورد. حافظه کاری همچنین در فرایند ذخیره غیرفعالانه اطلاعات نقش داشته و دارای توانایی شناختی برای دستکاری اطلاعات ذخیره شده است. (رابسون، ۲۰۱۲). محققان حیطه مغز و اعصاب اعتقاد دارند که زیربنای توانایی ما برای تفکر پیچیده بوده و نظریه‌های مختلفی برای معرفی آن مطرح شده است که پرکاربردترین و موفق‌ترین آن، مدل چند مؤلفه‌ای بدلی و هیچ است. در مدل حافظه کاری بدلی، حافظه کاری دارای چهار مؤلفه اصلی است: حلقه واج شناختی، حافظه کاری دیداری-فضایی، مجری مرکزی و انباره رویدادی. حلقه واج شناختی و حافظه کاری دیداری-فضایی مثل دو دستیار به مجری مرکزی در انجام کارش یاری می‌رسانند. دروندادهای حافظه حسی وارد حلقه واج شناختی شده که در آن ذخیره سازی و مرور اطلاعات گفتاری انجام می‌شود. حافظه کاری دیداری - فضایی محل

ذخیره تصویرهای ذهنی و دیگر اطلاعات دیداری و فضایی است. مجری مرکزی همانند ناظری عمل می‌کند که اطلاعات و مسائل مهم و با ارزش و اطلاعات و مسائل بی‌اهمیت را شناسایی می‌کند. همچنین مشخص می‌کند که در پردازش اطلاعات و حل مسأله چه راهبردهایی بکار گرفته شود. بدلی (۲۰۰۳) مؤلفه انباره رویدادی<sup>۲</sup> را به این مدل اضافه کرد. این انباره یک سیستم ذخیره‌سازی کوتاه مدت است که در کنترل بخش اجرایی مرکزی قرار دارد و اطلاعات مدار آوایی و صفحه دیداری فضایی را به هم مرتبط می‌کند تا بتواند واحدهای تلفیقی دیداری-فضایی-کلامی را به ترتیب زمانی تشکیل دهد (بدلی، ۲۰۰۳، به نقل از ارکان و یاریاری؛ ۱۳۹۳). مطالعات تصویربرداری عصبی که فرآیندهای حافظه کاری در مغز را شناسایی می‌کنند، قشر پیشانی و مخصوصاً کورتکس پیش پیشانی خلفی جانبی (DLPFC) را به عنوان ناحیه مهم درگیر در فرایندها و کمبودهای حافظه کاری پیشنهاد کرده‌اند. از طرفی قشر پیشانی، عقده‌های قاعده‌ای و مخچه در هنگام انجام زمان واکنش افراد فعال می‌شوند. زمان واکنش، عمل مهمی در بسیاری از ورزش‌هاست و کاهش آن موجب کسب موفقیت در اجرا می‌شود. با توجه به اهمیت زیاد سرعت واکنش، هر عاملی که موجب کوتاه‌تر شدن زمان واکنش می‌شود اجرای بهتری در مهارت‌هایی که سرعت عمل عامل تعیین‌کننده است، صورت می‌گیرد (وانگ<sup>۳</sup>، ۲۰۰۹).

2. Episodic buffer

3. Wang

1. Melby-Lervåg & Hulme

تکنیک‌هایی که مستقیماً فعالیت قشر پیشانی خلفی و نیز مخچه را را مورد بررسی و تنظیم قرار می‌دهند قابلیت خوبی برای بهبود حافظه کاری و زمان واکنش دارند. در سال‌های اخیر پژوهش درباره کارآمدی تکنیک‌های غیرتهاجمی تحریک مغز به مرور زیاد شده است. به‌ویژه تحریک مغز از روی مجموعه با استفاده از جریان مستقیم الکتریکی (TDCS) یافته‌های امیدوار کننده‌ای را پیش روی محققان قرار داده است (فلوئل، ۲۰۱۴).

تحریک فراجمعه‌ای مغز با استفاده از جریان مستقیم الکتریکی (TDCS)، یک تکنیک تحریک غیرتهاجمی است که می‌تواند با استفاده از یک جریان ضعیف الکتریکی بر مجموعه، تغییرات موقتی در تحریک‌پذیری مناطق قشری ایجاد کند. پارامترهای فیزیکی TDCS شامل شدت جریان، مکان تحریک، اندازه الکتروود، مدت زمان تحریک و قطبیت جریان (آند یا کاتد) هستند که هر یک موجب تأثیرات متفاوتی می‌شود.

تحریک فراجمعه‌ای مغز با استفاده از جریان مستقیم الکتریکی (TDCS) با تغییر تحریک‌پذیری نورون‌ها و جابجایی پتانسیل غشای نورون‌های سطحی در جهت دپولاریزاسیون یا هایپر پولاریزاسیون، موجب شلیک بیشتر یا کمتر سلول‌های مغز می‌شود. تحریک مغز از روی مجموعه با استفاده از جریان مستقیم الکتریکی به منظور تغییر تحریک‌پذیری کورتکس در نواحی مورد نظر موجب افزایش یا

تفاوت‌های درون فردی در زمان واکنش اغلب نتیجه تغییر ماهیت محرک و پاسخ یا اثر تعامل محرک - پاسخ هستند. شدت محرک یا سیگنال، زمان واکنش را تحت تأثیر قرار می‌دهد ما به سیگنال‌های شدیدتر واکنش سریع‌تری نشان می‌دهیم. عامل دوم آشنا بودن محرک است. بدون شک ما به محرک‌های آشنا در مقایسه با محرک‌های ناآشنا سریع‌تر واکنش نشان می‌دهیم. این موضوع بهترین توجیه برای تمرین است (اشمیت و لی، ۲۰۰۵).

در ادبیات پژوهشی، تحقیقات بسیاری نشان داده‌اند که ورزش و فعالیت‌های بدنی، باعث کاهش زمان واکنش و افزایش سرعت پردازش در انسان می‌شود. پلسنیکار<sup>۱</sup> (۲۰۰۴) با مطالعه درباره دو گروه آزمودنی به این نتیجه رسید که گروه آزمایشی پس از هشت هفته تمرین بدنی، به‌طور معناداری زمان واکنش ساده و انتخابی کوتاهتری نسبت به گروه کنترل داشتند (خضری و همکاران، ۱۳۹۳).

اندازه‌گیری زمان عکس‌العمل در تحقیقات انجام شده، به دو دلیل پایه انجام می‌شود. اول اینکه اندازه‌گیری زمان عکس‌العمل، مولفه‌ای از وظایف زندگی حقیقی است مانند شروع دوی سرعتی و دلیل مهم‌تر این است که زمان عکس‌العمل نمایانگر شناسایی محرک<sup>۲</sup>، انتخاب<sup>۳</sup> و برنامه‌ریزی پاسخ<sup>۴</sup> است و همچنین به عنوان یک شاخص عمومی از یکپارچگی عملکردی سیستم عصبی مرکزی در نظر گرفته می‌شود (نوری و همکاران، ۱۳۹۱).

1. Plesnicar
2. Stimulus identification
3. Response selection
4. Response programming

گل اندام زمانی و محمد رضا دوستان: تأثیر تحریک الکتریکی فراجمعه‌ای مغز بر حافظه کاری و زمان واکنش دختران ورزشکار

کاری در ناحیه قشر پیش پیشانی خلفی جانبی انجام دادند، تعداد ۳۰ شرکت کننده را در طی ۳ جلسه مورد آزمون قرار دادند. شرکت‌کنندگان قبل و بعد از تحریک با آزمون تعیین فراخنای حافظه کاری جهت بررسی زمان واکنش و تعداد پاسخ‌های درست، مورد سنجش قرار گرفتند. پس از انجام تحلیل کوواریانس تک متغیری 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 حافظه کاری می‌شود. بریپیل و جونز (۲۰۱۲) در پی تحقیقی که بر روی بزرگسالان با سطوح تحصیلی متفاوت انجام گرفت نشان دادند که TDCS بر روی حافظه کاری در افراد بزرگسال با تحصیلات بالا مؤثر است ولی در گروه‌های تحصیلات پایین‌تر تأثیری گزارش نکردند و نتیجه‌گیری کردند که این تأثیرات متفاوت به دلیل چرخه‌های متفاوت لوب پیشانی در هنگام اجرای تکالیف حافظه کاری دانستند. سلطانی نژاد و همکاران (۱۳۹۳) در طی تحقیقی با عنوان اثر تحریک الکتریکی مستقیم شکنج پیشانی تحتانی راست مغز بر بهبود بازداری در افراد دارای نشانگان نقص توجه و بیش‌فعالی بدین نتیجه رسیدند که تحریک الکتریکی مستقیم از روی جمجمه بر روی شکنج پیشانی تحتانی راست افراد دارای نشانگان نقص توجه و بیش‌فعالی، می‌تواند کنترل مهاری را در مهار محرک‌های هدف پیشین بهبود ببخشد. باجیو و همکاران (۲۰۰۶) در پژوهشی نشان دادند که تحریک ۲ میلی آمپری در

کاهش کارکردهای مغزی می‌شود (کلارک و همکاران، ۲۰۱۱).

تحریک الکتریکی مستقیم مغز شیوه‌ای غیرتهاجمی است که طی آن جریان مستقیم ضعیفی بر پوست سر وارد شده و با به‌کار گرفتن آن تغییرات بلند مدت در قطبیت قشر مغز ایجاد می‌شود. با توجه به هدف تحقیق یا درمان مدنظر، در این نوع تحریک الکتریکی نقاطی از سر با استفاده از جریان‌های ضعیف الکتریکی هدف قرار می‌گیرند (سادوک<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۹). اصول کار به این صورت است که دو الکترود یکی قطب مثبت و دیگری قطب منفی از طریق یک پد اسفنجی که با محلول رسانا خیس گردیده است بر روی سر قرار می‌گیرند. جریان الکتریکی توسط این الکترودها پس از عبور از نواحی مختلف (پوست سر، جمجمه و...) خود را به سطح قشر مغز می‌رساند. جریانی که به این ناحیه رسیده نورون‌ها را دارای بار الکتریکی کرده و باعث ایجاد قطب مثبت و منفی می‌گردد که منجر به تغییر فعالیت آن ناحیه می‌شود. بنا به اختلالی که وجود دارد در انجام این روش باید موارد زیر مشخص شده باشد: شدت جریان الکتریکی، مدت و جهت آن، محل قرارگیری هر یک از الکترودها، اندازه پدهای اسفنجی مورد استفاده، تعداد جلسات (نیچه<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۹).

ارکان و یاریاری (۱۳۹۳) در پژوهشی که به منظور بررسی تأثیر تحریک مغز از روی جمجمه با استفاده از جریان مستقیم الکتریکی بر روی حافظه

1. Sadock
2. Nitsche

۳۰ نفر به صورت نمونه‌گیری هدفمند (کسانی که حداقل سه روز در هفته به طور مرتب به ورزش می‌پرداختند) و در دسترس انتخاب و در فرایند تحقیق شرکت کردند. معیارهای ورود به تحقیق شامل داشتن محدوده سنی ۱۴ تا ۱۸ سال، ورزشکار بودن (انجام فعالیت بدنی منظم به صورت حداقل سه روز در هفته)، عدم مشکلات جسمانی و روانی، عدم مشکلات بینایی و عصب شناختی بود.

برای اعمال تحریک مغزی در این پژوهش از دستگاه تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مدل نورواستیم<sup>۱</sup> محصول شرکت مدینا طب گستر و مؤسسه علوم شناختی سینا استفاده شد. این دستگاه از سال ۲۰۱۵ روانه بازار شده و جهت ارائه تحریک فراجمجمه‌ای با جریان الکتریکی طراحی شده است و می‌تواند ۵ نوع تحریک مختلف شامل تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای با جریان مستقیم، تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای با جریان متناوب<sup>۲</sup>، تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای با جریان پالس<sup>۳</sup>، تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای با جریان مستقیم - نوسانی<sup>۴</sup> و تحریک فراجمجمه‌ای با نویز تصادفی<sup>۵</sup> را ارائه دهد. دستگاه دارای دو کانال کاملاً مجزا بوده و هر کانال به‌طور مستقل از دیگری قابل تنظیم و اعمال انواع تحریک است. پارامترهای مختلف تحریک نظیر شدت جریان، زمان و فرکانس قابل تنظیم است. شدت جریان خروجی این دستگاه از ۰/۱ تا ۲ میلی آمپر و مدت زمان ارائه‌ی تحریک تا ۴۵ دقیقه و

ناحیه قشر حرکتی در بیماران پارکینسون موجب بهبود حافظه کاری در دقت تکلیف 3-BACK شد ولی تحریک یک میلی‌آمپری باعث بهبود معنادار در تکلیف مورد نظر نگردید. در پژوهشی دیگر، تنو و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که ۲۰ دقیقه تحریک آندی، با شدت جریان یک و دو میلی آمپری در انجام تکلیف استرنبرگ هر چند تأثیر معناداری بر روی انجام تکلیف نداشت اما زمان واکنش افراد در انجام این تکلیف بهبود یافت. فرگنی و همکاران (۲۰۰۵) در طی تحقیقی نشان دادند که تحریک الکتریکی ۱۰ دقیقه‌ای مغز هر چند باعث بهبود حافظه کاری گردید اما بر روی زمان واکنش تأثیری نداشت که احتمالاً کمبود زمان تحریک می‌تواند دلیل این موضوع باشد.

با توجه به اهمیت نقش زمان واکنش و حافظه کاری در زندگی افراد و نیز کمبود مطالعات تحقیقی در مورد بررسی تأثیر تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای یک طرفه و دو طرفه مغز بر عملکرد شناختی و حرکتی افراد، این پژوهش در پی آن است که به این سوال پاسخ دهد که آیا تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای یک طرفه و دو طرفه مغز می‌تواند بر زمان واکنش و حافظه کاری تأثیر گذار باشد؟

## روش

روش اجرای این تحقیق از نوع نیمه تجربی است که با استفاده از دو گروه و با طرح پیش‌آزمون - پس‌آزمون همراه با گروه کنترل انجام شد.

جامعه آماری این تحقیق را دانش‌آموزان ورزشکار دختر متوسطه اول شهرستان شادگان در سال ۹۶-۹۵ تشکیل دادند. از بین جامعه مذکور تعداد

1. Neuristim
2. Transcranial Alternating Current Stimulation
3. Transcranial Pulsed Current Stimulation
4. Oscillatory Transcranial Direct Stimulation
5. Transcranial Random Noise Stimulation

گل اندام زمانی و محمد رضا دوستان: تأثیر تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز بر حافظه کاری و زمان واکنش دختران ورزشکار

جهت ارزیابی حافظه کاری شرکت‌کنندگان از آزمون حافظه وکسلر استفاده شد که به عنوان یک مقیاس عینی برای ارزیابی حافظه بکار برده می‌شود. مقیاس حافظه وکسلر شامل خرده مقیاس‌های ارقام پیش‌رونده، پس‌رونده، کنترل ذهنی، حافظه منطقی، بازنگری و یادگیری تداعی‌ها است. این آزمون بارها توسط پژوهشگران مختلف بکار گرفته شده است. وکسلر (۲۰۰۰) ضریب همبستگی این آزمون را با خرده مقیاس‌های هوشی وکسلر بین ۰/۶۶ تا ۰/۸۶ گزارش کرده است.

شیوه اجرای آزمون در این پژوهش به این صورت بود که در روز اول یک پیش‌آزمون گرفته شد. بدین ترتیب که از تمام شرکت‌کنندگان آزمون زمان واکنش و نیز آزمون حافظه کاری به عمل آمد. پس از آن شرکت‌کنندگان به صورت تصادفی به دو گروه تحریک الکتریکی مغز و گروه کنترل تقسیم شدند. مرحله اکتساب به صورت ۲ جلسه یک روز در میان برگزار شد. در گروه‌های تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای یک طرفه آندال قشر حرکتی اولیه، الکتروود آند (۳۵ سانتی‌متر مربع) بر روی نقطه‌ی C4 در نیمکره‌ی راست (بر اساس سیستم ۱۰-۲۰ الکتروانسفالوگرافی و الکتروود کاند (۳۵ میلی‌متر مربع) در بالای حفره‌ی چشمی سمت چپ (FP1) قرار گرفت. این آرایش رایج‌ترین نوع قرارگیری الکتروودها جهت تحریک ناحیه قشری (نماینده عملکرد دست) است. (مارکوئیز و همکاران، ۲۰۱۵). در گروه کنترل هیچ‌گونه مداخله‌ای صورت نگرفت. بلافاصله بعد از آخرین جلسه تمرینی، پس‌آزمون به عمل آمد.

فرکانس موج خروجی تا ۲۰۰ هرتز قابل تنظیم است. از دیگر خصوصیات این دستگاه قابلیت نمایش مداوم مقاومت الکتروودها برای پیشگیری از سوزش پوست ناشی از افزایش مقاومت است. دستگاه مورد نظر قابلیت اعمال تحریک ساختگی را نیز دارد. همچنین مجهز به هشداردهنده‌ی صوتی است که در مواقع جدا شدن الکتروودها از سر، افزایش مقاومت الکتروودها، کاهش شارژ باتری و اتمام جلسه به صدا درمی‌آید. این دستگاه مجهز به باتری قابل شارژ (تا هشت ساعت کارکرد مداوم) است. برای تحریک قشر حرکتی از پد ابری با ابعاد ۳/۵×۳/۵ سانتی‌متر و برای تحریک مخچه‌ای از پد ابری با ابعاد ۲/۵×۲/۵ بر روی الکتروودها استفاده شد. همچنین محلول نمکی جهت خیس کردن پدها مورد استفاده قرار گرفت.

دستگاه اثر استروپ و محرک‌های شنیداری در دوره بی‌پاسخی روان‌شناختی: این دستگاه دارای قابلیت نمایش محرک‌های دیداری و شنیداری را دارد. محرک‌های دیداری شامل چهار رنگ قرمز، سبز، زرد و آبی است. محرک‌های شنیداری به‌طور پیش‌فرض شامل دو محرک صوتی با شدت ۳۰۰ و ۹۰۰ هرتز است (با تغییر نوع محرک‌های بارگذاری شده محرک‌های دیداری قابل تغییر است). محرک‌های شنیداری از طریق هدفون و محرک‌های دیداری از طریق صفحه نمایشگر رایانه ارائه می‌شوند. خروجی این دستگاه به صورت فایل اکسل با امکان نمایش مقدار زمان واکنش به میلی‌هزارم ثانیه و نوع پاسخ انتخاب شده برای محرک اول و دوم را دارد. البوغبیش و همکاران (۱۳۹۵) روایی ۰/۸۰ و پایایی آن را ۰/۸۰ ذکر کردند.

گل اندام زمانی و محمد رضا دوستان: تأثیر تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز بر حافظه کاری و زمان واکنش دختران ورزشکار

## یافته‌ها

با توجه به یافته‌های آزمون شاپیرو ویلک توزیع داده‌های زمان واکنش دو گروه نرمال است. بنابراین از آمار پارامتریک استفاده شد. جهت اطمینان از همگن بودن هر دو گروه در مرحله پیش‌آزمون از آزمون تحلیل واریانس یک راهه استفاده شد که نتایج این آزمون به شرح ذیل است.

جدول ۱. نتایج آزمون تحلیل واریانس یک راهه بین دو گروه آزمایشی و کنترل در مرحله پیش‌آزمون

متغیر	درجه آزادی	F	P
زمان واکنش دیداری ساده	۱	۱/۵۶	۰/۲۲
زمان واکنش دیداری انتخابی	۱	۰/۰۱	۰/۹۰

باتوجه به یافته‌های جدول شماره یک بین دو گروه آزمایشی و گروه کنترل در مرحله پیش‌آزمون تفاوت معناداری مشاهده نشد. برای بررسی اثر تحریک الکتریکی یک‌طرفه قسمت پیش‌پیشانی مغز بر زمان واکنش از آزمون تحلیل واریانس مرکب ۲ (گروه)  $\times$  ۲ (متغیر) استفاده شد. با توجه معنی‌دار شدن آزمون کرویت موخلی شاخص‌های  $(p > ۰/۰۵)$  گرین‌هاوس - گریزر گزارش داده شد.

جدول ۲. نتایج آزمون تحلیل واریانس ۲ (گروه)  $\times$  ۲ (متغیر) بین دو گروه آزمایشی و کنترل در پس‌آزمون

متغیر	درجه آزادی	F	P
زمان واکنش	۱	۲۰/۵۴	۰/۰۰۰۱
زمان واکنش $\times$ گروه	۱/۰	۷/۴۴	۰/۰۱
گروه	۱	۱/۱۸	۰/۲۸

باتوجه به جدول (۲) یافته‌های مربوط به آزمون تحلیل واریانس مرکب نشان داد؛ اثر اصلی زمان واکنش  $(F_{1,28}=20/54, p=0/0001, \eta^2=0/42)$  معنی‌دار بود. همچنین اثر تعامل زمان اندازه‌گیری با گروه نیز  $(F_{1,28}=7/44, p=0/01, \eta^2=0/21)$  معنی‌دار بود. اما اثر اصلی گروه  $(F_{1,28}=1/18, \eta^2=0/04)$  معنی‌دار نبود. در ادامه جهت بررسی اثر تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای بر زمان واکنش دو گروه از آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر و آزمون تعقیبی شفه استفاده شد. با توجه معنی‌دار شدن آزمون کرویت موخلی شاخص‌های  $(p > ۰/۰۵)$  گرین‌هاوس - گریزر گزارش داده شد.

جدول ۳. نتایج آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر بین دو گروه آزمایشی و کنترل

متغیر	گروه	درجه آزادی	خطای درجه آزادی	F	P
زمان واکنش	آزمایشی	۳	۴۲	۱۹/۲۲	۰/۰۰۰۱
زمان واکنش	کنترل	۳	۴۲	۱۸/۳۲	۰/۰۰۰۱

( $p=1/0$ ) و انتخابی ( $p=1/0$ ) بین مراحل پیش آزمون و پس آزمون پیشرفتی نداشتند. جهت اطمینان از همگن بودن هر دو گروه در مرحله پیش‌آزمون حافظه کاری از آزمون تحلیل واریانس یک راهه استفاده شد که نتایج این آزمون به شرح ذیل است.

با توجه معنادار شدن اثر زمان واکنش در هر دو گروه از آزمون تعقیبی شفه برای تعیین محل تفاوت استفاده شد. این آزمون نشان داد که گروه آزمایشی در مراحل پیش‌آزمون و پس‌آزمون زمان واکنش ساده ( $p=0/02$ ) و شنیداری ( $p=0/001$ ) پیشرفت معناداری داشتند اما گروه کنترل در هر دو آزمون زمان واکنش ساده

جدول ۴. نتایج آزمون تحلیل واریانس یک راهه بین دو گروه آزمایشی و کنترل در مرحله پیش آزمون

متغیر	درجه آزادی	F	P
کنترل ذهنی	۱	۰/۷۲	۰/۴۱
حافظه منطقی	۱	۰/۰۰۵	۰/۹۴
ارقام پیشرونده	۱	۰/۱۱	۰/۷۴
ارقام پسرونده	۱	۰/۱۸	۰/۶۷
بازنگری بصری	۱	۰/۶۲	۰/۴۳
تداعی	۱	۰/۶۰	۰/۴۴

تحلیل واریانس ۲ (گروه)  $\times$  ۶ (متغیر) استفاده شد که نتایج آن به شرح ذیل است. با توجه به معنی دار شدن ( $p>0/05$ ) آزمون کرویت‌موخلی شاخص‌های گرین‌هاوس گریزر گزارش داده شد.

با توجه به یافته‌های جدول شماره دو بین دو گروه آزمایشی و گروه کنترل در مرحله پیش‌آزمون تفاوت معناداری مشاهده نشد. برای بررسی اثر تحریک الکتریکی یک طرفه قسمت پیش‌پیشانی مغز بر حافظه کاری از آزمون

جدول ۵. نتایج آزمون تحلیل واریانس ۲ (گروه)  $\times$  ۶ (متغیر) بین دو گروه آزمایشی و کنترل

متغیر	درجه آزادی	F	P
شاخص	۲/۶۶	۱۸۳/۶۷	۰/۰۰۰۱
زمان واکنش $\times$ گروه	۲/۶۶	۳/۸۲	۰/۰۰۳
گروه	۱	۴۹/۲۳	۰/۰۰۰۱

گروه نیز ( $\eta^2=0/11$ )،  $p=0/003$ ،  $F_{2/63}=3/82$ ،  $F_{2/63}=3/82$ ،  $p=0/003$ ،  $\eta^2=0/11$  معنی دار بود. اثر اصلی گروه ( $F_{2/63}=0/66$ )،  $F_{2/63}=49/23$ ،  $p=0/0001$ ،  $\eta^2=0/11$  نیز معنی دار شد. در ادامه جهت بررسی اثر تحریک الکتریکی

با توجه به جدول (۵) یافته‌های مربوط به آزمون تحلیل واریانس مرکب نشان داد؛ اثر اصلی شاخص ( $F_{2/63}=183/67$ ،  $p=0/0001$ ،  $\eta^2=0/86$ )،  $F_{2/63}=183/67$ ،  $p=0/0001$ ،  $\eta^2=0/86$  معنی دار بود. همچنین اثر تعامل شاخص با



فراجمجمه‌ای بر زمان واکنش دو گروه از آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر و آزمون تعقیبی شفه استفاده شد. با توجه معنی‌دار شدن ( $p > 0/05$ ) گزارش داده‌شد.

جدول ۶. نتایج آزمون تعقیبی شفه در مقایسه بین حالت‌های مختلف زمان واکنش شنیداری و دیداری

زمان واکنش دیداری						
گروه	ارقام پیش‌رونده	ارقام پس‌رونده	کنترل ذهنی	حافظه منطقی	بازنگری	تداعی
آزمایشی	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱
کنترل	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۰/۹۳

سلولهای مغز و فرایند انعطاف‌پذیری عصبی را تسریع کرده و نهایتاً منجر به بهبود مهارت می‌شود، همچنین با نتایج برهیل و جونز (۲۰۱۲) که در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که تحریک الکتریکی مستقیم مغز از روی جمجمه در گروه بزرگسالان با تحصیلات عالی به موجب بهبود حافظه کاری می‌شود و نیز با یافته‌های اولویرا و همکاران (۲۰۱۳) که در تحقیقی نشان دادند که یک جلسه ۲۰ دقیقه‌ای تحریک TDCS می‌تواند موجب بهبود حافظه کاری در تکلیف n-BACK در افراد افسرده شود در یک راستا هستند.

همچنین تحقیقی که توسط جونز و همکاران (۲۰۱۵) بر روی بزرگسالان سالم انجام شد نیز نشان داد که ۱۰ جلسه استفاده از تحریک مستقیم مغز موجب بهبود یادگیری و حافظه کاری شرکت‌کنندگان شد. نتایج آزمون پیگیری تحقیق آنها حاکی از این مطلب بود که تأثیرات مثبت در بهبود عملکرد مورد نظر در گروه‌هایی که تحریک مغزی دریافت کرده بودند به مدت طولانی باقی می‌ماند. اندروس و همکاران (۲۰۱۱) نیز در طی تحقیقی بدین نتیجه دست یافتند که یک جلسه ۱۰

نتایج آزمون تعقیبی شفه نشان داد که گروه آزمایشی در کنترل ذهنی، حافظه منطقی، تکرار ارقام پس‌رونده و پیش‌رونده، بازنگری بصری و تداعی پس از تحریک الکتریکی قسمت پیش‌پیشانی مغز نسبت به مرحله پیش آزمون پیشرفت داشت. اما گروه کنترل در بین مراحل پیش آزمون و پس آزمون تفاوتی مشاهده نشد.

### بحث و نتیجه‌گیری

هدف از انجام این تحقیق بررسی تأثیر تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای یک طرفه و دو طرفه مغز بر حافظه کاری و زمان واکنش بود. نتایج نشان داد که در گروه تحریک واقعی نسبت به گروه تحریک ساختگی عملکرد حافظه کاری به طور معناداری بهبود یافته است. نتایج این قسمت از تحقیق با یافته‌های ارکان و یاریاری (۱۳۹۳) که در تحقیقی نشان دادند که تحریک الکتریکی مغز در دانشجویان مرد موجب افزایش پاسخ‌های صحیح و در نتیجه بهبود حافظه کاری می‌شود، با یافته‌های استاگ و همکاران (۲۰۱۱) که نشان دادند تحریک الکتریکی مغز موجب افزایش سطح تحریک‌پذیری

گل اندام زمانی و محمد رضا دوستان: تأثیر تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز بر حافظه کاری و زمان واکنش دختران ورزشکار

موجب بهبود شناسایی خطا در انجام تکلیف شناختی می‌شود و نیز با یافته‌های گلادوین و همکاران (۲۰۱۲)، کاروالهو و همکاران (۲۰۱۵) و زیمزمن و همکاران (۲۰۱۳) در یک راستا است.

اصل بنیادی درمان TDCS این است که به نوعی تغییراتی در تحریک پذیری قشر مغز ایجاد می‌کند. تحقیقات گذشته بیانگر این مطلب بوده‌اند که تحریک آندی منجر به افزایش تحریک‌پذیری و کاتدی منجر به کاهش تحریک‌پذیری در مغز می‌گردد. نتایج پژوهش‌های دیگر نیز بیان کرده‌اند که اثرات فوری این نوع تحریک به دلیل تغییرات در پتانسیل غشا سلول در سطح زیرآستانه‌ای است (اسبقی، طالع‌پسند و رضایی، ۱۳۹۴)

از طرفی نتایج تحقیق حاضر با یافته‌های اوهن و همکاران (۲۰۰۷)، باجیو و همکاران (۲۰۰۶)، فرگنی و همکاران (۲۰۰۵) که در تحقیقات جداگانه‌ای بدین نتیجه رسیدند که تحریک مستقیم مغز بر روی زمان واکنش شرکت‌کنندگان تأثیری نداشت، ناهمخوان است. شاید یکی از دلایل ناهمخوانی تحقیق حاضر با تحقیقات اشاره شده مربوط به آزمودنی‌ها و تکلیف نسبتاً دشوار مورد استفاده باشد. بدین صورت که در تحقیق باجیو و همکاران (۲۰۰۶) از بیماران پارکینسونی استفاده شده بود و تکلیف مورد استفاده در تحقیقات اشاره شده شامل تکلیف (3-back) بود که یک تکلیف سخت و دشوار است. در یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت که تحریک مستقیم مغز می‌تواند موجب بهبود حافظه کاری و نیز کاهش زمان واکنش در دختران ورزشکار گردد.

دقیقه‌ای تحریک الکتریکی مغز می‌تواند موجب بهبود ظرفیت حافظه فعال در کودکان شود. هر چند در تحقیق آنها و خیلی از تحقیقات مشابه که بر روی کودکان انجام گرفته تأکید زیادی شده است که حتماً از تحریک کمتر از یک میلی آمپر جهت تحریک مغز استفاده شود تا موجب اختلال در روند ساختار مغز کودکان در حال رشد نگردد.

تحریک TDCS به عنوان یک تکنیک درمانی عصبی موجب می‌شود که یک جریان مستقیم و ضعیفی به مناطق قشری مختلف با توجه به هدف درمان یا پژوهش وارد شود و از این طریق فعالیت مربوط به حرکت مورد نظر را از نظر عصبی تسهیل یا بازداری می‌کند (بروننی و همکاران، ۲۰۱۲). به دنبال اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای و تعدیل برانگیختگی قشری، پتانسیل‌های برانگیخته‌ی حرکتی در ناحیه‌ی تحت الکترود آند تسهیل شده و شکل‌پذیری قشری در ارتباط با بهبود اجرای حرکتی صورت می‌گیرد (استگ و نیچه، ۲۰۱۱).

دیگر نتایج تحقیق حاضر نشان داد که عملکرد زمان واکنش در گروه تحریک واقعی نسبت به گروه تحریک ساختگی به طور معناداری بهبود یافته است. نتایج این قسمت از تحقیق در راستای تحقیق مالکویینی و همکاران (۲۰۱۱) که در طی تحقیقی نشان دادند که یک جلسه ۲۰ دقیقه‌ای تحریک آندی یک میلی آمپری می‌تواند سرعت انجام تکلیف شمارش دو عدد به عقب را بهبود بخشد، با نتایج هارتنی و همکاران (۲۰۱۴) که در تحقیقی بدین نتیجه رسیدند تحریک الکتریکی مغز

## منابع

- آبوغیش، س.؛ شتاب بوشهری، ن.؛ دانشفر، ا. و عابدان زاده، ر (۱۳۹۵). «بررسی تسهیل و تداخل معنایی اثر استروپ بر دوره بی‌پاسخی روان‌شناختی». فصلنامه عصب روانشناسی، دوره ۲، شماره ۷، ۱۰۴-۹۱.
- ارکان، ا. و یاریاری، ف (۱۳۹۳). «تحریک مغز از روی مجموعه با استفاده از جریان مستقیم الکتریکی (TDCS) بر حافظه کاری در افراد سالم». فصلنامه روانشناسی شناختی، دوره ۲، شماره ۲، ۱۷-۱۰.
- اسبقی، ا.؛ طالع‌پسند، س. و رضایی، ع (۱۳۹۴). «مقایسه اثربخشی تحریک مکرر مغناطیسی فراقشری با تحریک مغز از روی مجموعه با جریان مستقیم الکتریکی در بیماران مبتلا به افسردگی». دوره ۱، شماره ۱، ۸۵-۷۵.
- Parkinson's disease. *Journal of the Neurological Sciences*, 249, 31-38.
- Brunoni, A, R, Nitsche, M, A, Blognini, N, Bikson, M, Wagner, T, Merabet, L, et al. (2012). Clinical research with transcranial direct current stimulation (tDCS): Challenges and future directions. *Brain Stimulation*. 5(3), 175-195.
- Clark, V. P., Coffman, B. A., Trumbo, M. C., & Gasparovic, C. (2011). Transcranial direct current stimulation (tDCS) produces localized and specific alterations in neurochemistry: a 1 H magnetic resonance spectroscopy study. *Journal of Neuroscience*, 31(12), 4111-4118.
- اشمیت، ر. و تیموتی، ل (۲۰۰۵). یادگیری و کنترل حرکتی. مترجمان: حمایت طلب، ر. و قاسمی، ع (۱۳۸۴). تهران: انتشارات علم و حرکت. چاپ اول.
- سلطانی‌نژاد، ن.؛ نجانی، و. و اختیاری، ح (۱۳۹۳). «اثر تحریک الکتریکی مستقیم شکنج پیشانی تحتانی راست مغز بر بهبود بازداری در افراد دارای نشانگان نقص توجه و بیش‌فعالی». *طب توانبخشی*، دوره ۲، شماره ۴، ۹-۱.
- نوری، ل.؛ شادمهر، آ.؛ عطارباشی، ب. و قطبی، ن (۱۳۹۱). «مقایسه زمان عکس‌العمل و مهارت پیش‌بینی در زنان ورزشکار و غیر ورزشکار». *مجله علمی پژوهشی توانبخشی نوین*، دوره ۶، شماره ۳، ۴۳-۳۷.
- Baddeley, A.D. (2003). Working Memory Looking back and looking forward. *Nature Reviews - Neuroscience*, 4, 829-839.
- 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., Nitsche, M., Leone, A.P., & Fregni, F. (2006). Effects of Trans cranial direct current stimulation on working memory in patients with

- resonance spectroscopy study. *Neuroscience letters*, 500(1), 67-71.
- Flöel, A. (2014). TDCS-enhanced motor and cognitive function in neurological diseases. *Neuroimage*, 85, 934-947.
- Furuya, S., Klaus, M., Nitsche, M.A., Paulus, and Altenmuller, E. (2014). Ceiling effects prevent further improvement of transcranial stimulation in skilled musicians. *The Journal of Neuroscience*, 34(41): 13834–13839.
- Marquez, J., Conley, A., Karayanidis, F., Lagopoulos, J., & Parsons, M. (2015). Anodal direct current stimulation in the healthy aged: Effects determined by the hemisphere stimulated. *Restorative Neurology and Neuroscience*. 33: 509-519.
- Melby-Lervåg, M., & Hulme, C. (2013). Is working memory training effective? A meta-analytic review. *Developmental psychology*, 49(2), 270.
- 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.
- 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/>.
- Stagg, C. J., Jayaram, G., Pastor, D., Kincses, Z. T., Matthews, P. M., & Johansen-Berg, H. (2011). Polarity and timing-dependent effects of transcranial direct current stimulation in explicit motor learning. *Neuropsychologia*, 49(5), 800-804.
- 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.
- Wang, J. (2009). Reaction-Time Training for Elite Athletes: A Winning Formula for Champions. *International journal of coaching science*, 3(2).
- Zimmerman, M., Nitsch, M., Giroux, P., Gerloff, C., Cohen, L. G., & Hummel, F. C. (2013). Neuroenhancement of the aging brain: restoring skill acquisition in old subjects. *Annals of neurology*, 73(1), 10-15