

اثرات یک جلسه تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای بر چرخش ذهنی تصاویر دست و

حافظه دیداری فضایی

یوسف مقدس تبریزی^۱، میثم یآوری کاتب^۲، شهناز شهربانیان^۳

۱. استادیار دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۲. کارشناسی ارشد روانشناسی ورزش، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۳. استادیار گروه تربیت بدنی دانشکده علوم انسانی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

(تاریخ وصول: ۹۷/۱۰/۲۵ - تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۱/۲۰)

Effects of a Single Session Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) on Hand Mental Rotation and Visuo-Spatial Working MemoryYousef Moghadas Tabrizi¹, Meysam Yavari Kateb², Shahnaz Shahrbanian³

1. Assistant Professor, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran.

2. MA of Degree in Sport Psychology, College of Sport Sciences, Tehran University, Tehran, Iran.

3. Assistant professor, Department of Sport Science, Faculty of Humanities, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

(Received: Jan. 15, 2019 - Accepted: Apr. 09, 2019)

Abstract

چکیده

Aim: The purpose of this study was to investigate the effects of one session of transcranial direct current stimulation (tDCS) on hand mental rotation (HMR) and visuo-spatial working memory (VSWM). **Methods:** The 54 right handed students of sport science at University of Tehran were selected and then were randomly divided into two groups of anodal (N=27) and sham (N=27), and further were divided in two subgroups according to site of stimulation (F4 & P4) (total of four groups). Before and after the application of tDCS, participants completed the HMR Task and Corsi test (to study VSWM). **Findings:** Results of anodal group showed a significant difference between the pre-test and post-test in reaction time and accuracy of HMR, also reaction time and span of Corsi in both sites (F4 & P4). Also, comparing the effects between two sites in HMR, revealed that subjects responded faster and more accurately in F4 than P4. But only in forward Corsi test, response time was faster in F4 than P4. **Conclusion:** According to the findings of the present study, both F4 and P4 sites could be used to improve motor imagery and visual-spatial memory while the F4 showed better result.

Keywords: tDCS, Motor Imagery, Visuo-Spatial Working Memory, Hand Mental Rotation.

مقدمه: پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات یک جلسه تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای بر چرخش ذهنی تصاویر دست و حافظه دیداری-فضایی انجام گردید. روش: ۵۴ نفر از دانشجویان راست دست دانشکده تربیت بدنی دانشگاه تهران، به صورت در دسترس انتخاب و سپس به شکل تصادفی به دو گروه تحریک (۲۷ نفر) و شام (۲۷ نفر) تقسیم و هر کدام از این دو گروه نیز در دو زیرگروه F4 و P4 توزیع شدند (در مجموع چهار گروه). قبل و بعد از تحریک الکتریکی، آزمودنی‌ها تکلیف چرخش ذهنی و آزمون کرسی را تکمیل نمودند. یافته‌ها: نتایج مشخص کرد که بین پیش‌آزمون و پس‌آزمون آزمودنی‌ها در زمان پاسخ و دقت پاسخ چرخش ذهنی و زمان پاسخ، فراخنا در حافظه دیداری-فضایی، در هر دو نقطه در گروه تحریک تفاوت معناداری وجود داشت. در گروه شام تفاوت معناداری مشاهده نشد. مقایسه اثرات دو نقطه در چرخش ذهنی نشان داد آزمودنی‌ها در نقطه F4 سریع‌تر و دقیق‌تر پاسخ داده‌اند. در آزمون کرسی هم تنها در زمان پاسخ رو به جلو تفاوت معنادار به نفع F4 مشاهده شد. نتیجه‌گیری: یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که می‌توان از تحریک هر دو نقطه F4 و P4 برای بهبود چرخش ذهنی و نیز حافظه دیداری-فضایی استفاده کرد اما F4 در مقایسه با P4 نتایج بهتری را به همراه داشت.

واژه‌گان کلیدی: تحریک الکتریکی، تصویرسازی حرکتی، حافظه دیداری-فضایی، چرخش ذهنی دست.

ذهنی^۹، ج) تصویرسازی فضایی^{۱۰}. ادراک فضایی به توانایی استنتاج جهت یک شی با در نظر گرفتن جهت خود فرد گفته می‌شود. چرخش ذهنی به مفهوم توانایی تجسم چرخش یک محرک بصری و یا به توانایی تولید بازنمایی ذهنی از یک ساختار دو یا سه بعدی چرخش یافته است و اما تصویرسازی فضایی که قدری پیچیده‌تر بوده و عبارت است از توانایی دست‌کاری اطلاعات فضایی ارائه شده. با عنایت به تعاریف مذکور، چرخش ذهنی^{۱۱} را می‌توان توانایی مغز برای درک اشیای در حال حرکت در محیط دانست. توانایی چرخش ذهنی با متغیرهای شناختی و حرکتی در تعامل است (بیست، هیل، دومسچک، کونراد،^{۱۲} ۲۰۱۰)، در واقع چرخش ذهنی یک اندازه‌گیری مجازی از توانایی تصویرسازی است که در آن فرد به طور ناخودآگاه راجع به یک محرک بصری با حداکثر سرعت و دقت ممکن نظر می‌دهد (مائدا و یوون^{۱۳}، ۲۰۱۳) مطالعات اخیر نشان داده‌اند که افراد چرخش ذهنی دست را در تصویرسازی حرکتی به کار می‌گیرند (چن، بین، دالی، گاوو،^{۱۴} ۲۰۱۳). بر این مبنا می‌توان عنوان کرد که چرخش ذهنی در واقع یک اندازه‌گیری از تصویرسازی

تصویرسازی^۱ ذهنی اشاره به توانایی ایجاد و یا بازسازی یک رویداد در ذهن دارد و تصویرسازی حرکتی^۲ توانایی بازسازی فعالیت‌ها و مهارت‌های حرکتی در ذهن فرد بدون اجرای فیزیکی آن است (سوبیراتس، آلالی، بریانسولت، سالی و پروچون^۳، ۲۰۱۸). مطالعات فراوانی اثربخشی تصویرسازی را بر یادگیری و اجرای مهارت‌ها نشان داده‌اند (سیمونس‌میر و بوچر^۴، ۲۰۱۷) و مشخص شده که تصویرسازی می‌تواند در توالی، طرح و برنامه حرکت و نیز فعال‌سازی مسیرهای عصبی عضلات درگیر در مهارت مؤثر باشد (اشمیت، لی، وینستین، وولف و زلازینیک^۵، ۲۰۱۸)، همچنین می‌تواند عملکرد را تسهیل و باعث افزایش سرعت یادگیری مهارت در افراد مبتدی گردد (کامینگ و ویلیامز^۶، ۲۰۱۳).

از سوی دیگر محققان مختلف تعاریف متفاوتی از توانایی‌های فضایی ارائه کرده‌اند، اما تعریفی که اغلب محققان بر آن اتفاق نظر دارند تعریف لین و پترسون^۷ (۱۹۸۶) است که در آن توانایی‌های فضایی به سه دسته تقسیم شده است: الف) ادراک فضایی^۸، ب) چرخش

9. Mental Rotation
10. Spatial Visualization
11. Mental Rotation
12. Beste, Heil, Domschke & Konrad
13. Maeda & Yoon
14. Chen, Bin, Daly & Gao

1. Imagery
2. otor Imagery
3. Subirats, Allali, Briansoulet, Salle & Perrochon
4. Simonsmeier & Buecker
5. Schmidt, Lee, Winstein, Wulf & Zelaznik
6. Cumming & Williams
7. Linn & Peterson
8. Spatial perception

در طی ۳۰ سال اخیر، مطالعه و استفاده از تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای^۸ (tDCS) رشد فزاینده‌ای داشته (رایز^۹ و همکاران، ۲۰۰۸) و نتایج مثبت و امیدوارکننده‌ای را از خود نشان داده است. تحریک الکتریکی مستقیم مغز یک روش غیرتهاجمی است که در آن جریان ضعیف الکتریکی به نقاطی مشخص از پوست سر وارد می‌شود. این تحریکات باعث کاهش آستانه فعالیت سیستم عصبی مرکزی می‌شود و تغییر ناحیه‌ای در تحریک‌پذیری کورتکس را از طریق ناقطبی‌سازی^{۱۰} و بیش قطبی^{۱۱} نوروها ایجاد می‌کند (سادوک، سادوک و کاپلان^{۱۲}، ۲۰۰۹). مطالعات فراوانی اثربخشی آن را بر اختلالات شناختی، اختلالات حرکتی، حافظه عملکردی، اختلالات نوشتاری (ویکاریو و نیتچه^{۱۳}، ۲۰۱۳) و درمان دردهای مزمن، پارکینسون و سکتة مغزی (موندینو^{۱۴} و همکاران، ۲۰۱۴) نشان داده‌اند، همچنین اثرات مثبت tDCS بر بهبود توان تصویرسازی حرکتی نیز مشخص شده (یاوری و همکاران، ۱۳۹۷). چندین مطالعه هم اثرات مثبت tDCS را بر حافظه نشان داده‌اند برای مثال ارکان و یاریاری (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای به بررسی تاثیر tDCS بر روی حافظه کاری پرداختند که در

حرکتی است و در ارتباط نزدیک با آن قرار دارد. در تکلیف چرخش ذهنی دست، تصویر یک دست که در زوایای مختلف چرخیده در صفحه نمایش کامپیوتر نشان داده می‌شود و از فرد خواسته می‌شود که تشخیص بدهد این عکس تصویر دست راست است یا چپ (ایستس^۱، ۱۹۹۸).

در میان توانایی‌های شناختی حافظه کاری^۲ نقش کلیدی در اجرای چرخش ذهنی داشته و اطلاعات را برای استفاده، فعال نگه می‌دارد و در تحکیم اطلاعات برای ذخیره بلند مدت نقش کاربردی دارد و از طریق همکاری دو مؤلفه ذخیره‌سازی و پردازش، قادر به حفظ، پردازش و یکپارچه‌سازی اطلاعات مرتبط با هدف است (هیتچ و بادلی^۳، ۲۰۱۷). حافظه کاری به چهار بخش اصلی تقسیم می‌شود که شامل: ۱) مجری مرکزی^۴ (حلقه واج‌شناسی^۵ (۳) حافظه دیداری-فضایی^۶ و ۴) انباره رویداری^۷ است. حافظه دیداری فضایی در بخش ذخیره‌سازی دیداری و نیز فرآیند کنترل فضایی فعال می‌گردد (ارجمندنیا، شریفی و رستمی، ۱۳۹۳)، از این رو می‌توان عنوان کرد که حافظه دیداری-فضایی در یادگیری مهارت‌ها (یادگیری مشاهده‌ای) و نیز ایجاد طرح عمل، نقشی مستقیم و مؤثر دارد.

8. Transcranial Direct Current Stimulation
9. Reis
10. Depolarization
11. Hyperpolarization
12. Sadock, Sadock & Kaplan
13. Vicario & Nitsche
14. Mondino

1. Estes
2. Working memory
3. Hitch & Baddeley
4. Central Executive
5. Phonological loop
6. Visual spatial memory
7. Episodic Buffer

یوسف مقدس تبریزی و همکاران: اثرات یک جلسه تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای بر چرخش ذهنی تصاویر دست و حافظه دیداری فضایی نهایت نتایج نشان داد تحریک آندی ناحیه قشر پیش پیشانی خلفی جانبی باعث بهبود حافظه کاری می‌شود. همچنین شاهرادی و اورکی (۱۳۹۷) نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند. پژوهش‌های گذشته نشان داده‌اند که tDCS می‌تواند به عنوان یک ابزار در تعدیل و تغییر تحریک‌پذیری مناطق حرکتی درگیر در تصویرسازی (ویلیامز و ویلکینز^۱، ۲۰۰۴) و بهبود کارکرد حافظه کاری (دومونت، مودریب و دئوریت^۲، ۲۰۱۷) استفاده شود، با توجه به نقش و بسترسازی حافظه دیداری فضایی در توانایی چرخش ذهنی مطالعه‌ای برای بررسی اثر بخشی tDCS همزمان بر دو موضوع صورت پذیرفته است.

در مورد اثرات کوتاه مدت tDCS رودریگز، لائز، اورتیزگارسیا و آزورین^۳ (۲۰۱۸) در پژوهشی نشان دادند که اثرات مثبت tDCS در عملکرد چند روز اول تنها به روز اول مربوط است، و بعد از آن تا پنج روز، پیشرفت در نتیجه سازگاری حاصل از تکرار آزمون است، که مشاهده می‌شود. همچنین آنان عنوان کردند که در درمان و تمرینات کمتر از پنج روزی که با استفاده از تحریک الکتریکی انجام می‌شود شاید نیازی به استفاده از tDCS در تمامی روزها نباشد و تنها می‌توان در جلسه اول با استفاده از آن یک اثر فوری در فعال کردن مسیر عصبی ایجاد کرد، که آن باعث ایجاد حداکثر کارایی که فرد می‌تواند به آن برسد می‌شود، بدین ترتیب آزمودنی‌ها می‌توانند کارایی حاصل را هر روز حفظ کنند. وی، زو، هی و وانگ^۴ (۲۰۱۳) نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند. همچنین جرکو، دوآرت، زانون، گالی، فرگنی و

مطالعاتی به شناسایی نواحی قشری فعال هنگام چرخش ذهنی و حافظه پرداخته و نقش قشر حرکتی، قشر پیش حرکتی و آهیانه خلفی را نشان داده‌اند (کوسلین^۳ و همکاران، ۱۹۹۸)، در انتخاب نقطه مناسب برای tDCS و اثرگذاری بر تصویرسازی، اهرلیچمن و همکاران (۱۹۸۳) نشان دادند که نیمکره راست مغز به فرآیندهای تصویری (تصویرسازی دیداری-فضایی) اختصاص دارد. بر اساس مطالعات MRI و نیز مطالعات قبلی صورت گرفته دو بخش قشر آهیانه خلفی راست^۴

5. Bruno
6. Right Dorsolateral Prefrontal Cortex
7. Foerster
8. Rodriguez, Iáñez, Ortiz-García & Azorín
9. Wei, He, Zhou & Wang

1. Williams & Wilkins
2. Dumont, Mouderrib & Théoret
3. Kosslyn
4. Right Posterior Parietal Cortex

اولیوریا^۱ (۲۰۱۴) گزارش کردند که اثرات فوری و تک جلسه‌ای tDCS در افزایش سریع فعال شدن قشر مغزی می‌تواند تاثیر معناداری بر کنترل حرکت و راه رفتن داشته باشد. با توجه به موارد ذکر شده از مداخله tDCS با طرح یک جلسه استفاده شد.

با در نظر داشتن نقش توانایی تصویرسازی حرکتی و نیز حافظه دیداری فضایی در تمرین، آموزش و کاربست مهارت‌های حرکتی در ورزش و باز توانی، بررسی ابزاری که بتواند بر این دو متغیر مهم اثرگذار باشد جایگاه ویژه‌ای دارد. لذا مطالعه حاضر به دنبال بررسی اثرات یک جلسه tDCS بر تصویرسازی حرکتی و حافظه دیداری-فضایی است.

روش

پژوهش حاضر از لحاظ هدف کاربردی و از نظر روش نیمه تجربی با طرح پیش‌آزمون-پس‌آزمون و با در نظر گرفتن گروه کنترل بود. جامعه آماری شامل دانشجویان مقطع کارشناسی ارشد دانشکده تربیت بدنی دانشگاه تهران در سال ۹۷ بود که ۵۴ نفر (۲۶ زن، ۲۸ مرد) با میانگین سنی (۲۴/۵۲±۰/۱۲ سال) بر اساس ملاک‌های ورود-خروج به شیوه در دسترس انتخاب شدند. سپس به صورت تصادفی به دو گروه

پژوهش شامل: راست دست بودن بر اساس تست دست غالب ادینبورگ. نداشتن بیماری‌های مغزی و عصبی (نورولوژیکی) مانند صرع، بیماری روانی، سرگیجه، سردردهای مزمن و در نهایت مصرف داروهای اعصاب و روان و صرع، بنزودیپین‌ها و ال دویا به دلیل مداخله در اثربخشی تحریک الکتریکی (اوتز، دیمووا، اوپنلندر و کراکوف^۲، ۲۰۱۰)، داشتن سابقه تحریک الکتریکی برای درمان هر اختلالی، وجود ایمپلنت فلزی در استخوان، مشکل شنوایی، بینایی بر اساس مشاهده آزمونگر بود.

قبل از شروع تحقیق، کد اخلاق از کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه علوم پزشکی دانشگاه تهران به شماره IR.TUMS.VCR.REC.1397.436 دریافت گردید. با انتشار اطلاعیه‌ها در سطح دانشکده تربیت بدنی دانشگاه تهران، افراد علاقه‌مند برای حضور در پژوهش اعلام آمادگی کردند. افرادی که بر اساس معیارهای ورود به پژوهش واجد شرایط بودند انتخاب شدند. آزمودنی‌ها توضیحات مورد نیاز درباره انجام مداخلات و روند کلی پژوهش را

1. Grecco, Duarte, Zanon, Galli, Fregni & Oliveira

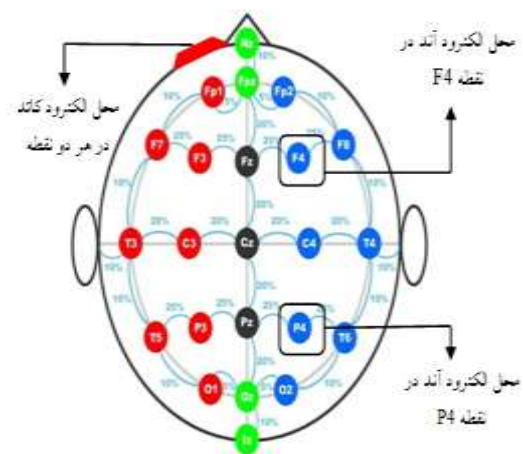
2. Utz, Dimova, Oppenländer & Kerkhoff

یوسف مقدس تبریزی و همکاران: اثرات یک جلسه تحریک الکتریکی مستقیم فراججمه‌ای بر چرخش ذهنی تصاویر دست و حافظه دیداری فضایی

در این مطالعه، از یک جلسه tDCS با جریان ۱/۵ میلی‌آمپر و به مدت ۱۵ دقیقه با پدهای اسفنجی به ابعاد ۵*۷ استفاده شد (جان و هان^۵، ۲۰۱۲). مطالعات پیشین نشان داده‌اند که جریان ۱/۵ میلی‌آمپر به مدت ۱۵ دقیقه می‌تواند روی فاکتورهای شناختی اثر تسهیل کننده داشته باشد (تسنگ^۶ و همکاران، ۲۰۱۲) و یک اثر تحریکی تا ۹۰ دقیقه را ایجاد می‌کند (نیتچه و پاولوس^۷، ۲۰۰۱).

مداخلات برای آزمودنی‌ها شامل: تحریک الکتریکی آنودی^۸ و تحریک الکتریکی شم^۹ بود. در تحریک الکتریکی آنودی (A-tDCS) جریان مستقیم ۱/۵ میلی‌آمپر در تمام طول مدت جلسه به سر فرد وارد می‌شود و در تحریک الکتریکی شم (S-tDCS) بعد از اتصال الکترودها جریان الکتریکی ۱/۵ میلی‌آمپر به سر فرد وارد اما بعد از گذشت ۳۰ ثانیه بدون اینکه به آزمودنی اطلاعی داده شود، جریان الکتریکی قطع می‌شود. آزمودنی‌ها از قرار گرفتن در گروه آزمایش یا کنترل اطلاعی نداشتند. در پایان مداخله، بلافاصله پس از آزمون انجام شد. به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از آمار توصیفی و استنباطی استفاده شد. از آمار توصیفی برای بیان میانگین و انحراف استاندارد داده‌ها استفاده شد.

دریافت کردند و در ادامه فرم رضایت‌نامه توسط آن‌ها تکمیل گردید. پیش از آزمون شامل آزمون چرخش ذهنی تصاویر دست و حافظه دیداری-فضایی توسط تمامی آزمودنی‌ها انجام شد، بعد از آن مداخله tDCS صورت گرفت، به این شکل که الکترود آندی^۱ (مثبت) در محل قشر پیش پیشانی راست^۲ معادل نقطه F4 و الکترود کاتدی^۳ (منفی) بر بالای قشر حدقه‌ای در طرف مقابل (بالای ابرو و حدقه چشم چپ) و نیز برای قشر آهیانه خلفی راست^۴، آند بر روی نقطه P4 و کاتد بر بالای قشر حدقه‌ای در طرف مقابل قرار گرفت. برای یافتن دو نقطه P4 و F4 سیستم بین‌المللی ۱۰-۲۰ به کار گرفته شد (شکل ۱).



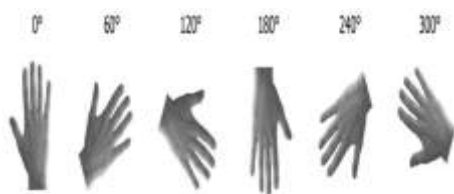
شکل ۱. سیستم بین‌المللی ۱۰-۲۰ نقطه یابی مغز

5. Jeon & Han
6. Tseng
7. Nitsche & Paulus
8. Anodal Transcranial Direct Current Stimulation
9. Sham Transcranial Direct Current Stimulation

1. Anode Electrode
2. Right Dorsolateral Prefrontal Cortex
3. Cathode Electrode
4. Right Posterior Parietal Cortex

چپ است که از نماهای (پشت دست، کف دست) در زوایای مختلف به نمایش در می آید (پارسونز^۲، ۱۹۹۴) این تکلیف با استفاده از نرم افزار سای تسک^۳ نسخه ۱/۵۰ طراحی شده است.

تصاویر از دو تصویر از دست راست (کف و پشت) و دو تصویر از دست چپ (کف و پشت) که در کل چهار تصویر است تشکیل شده است، تصاویر در ۶ زاویه مختلف (شامل: ۰°، ۶۰°، ۱۲۰°، ۱۸۰°، ۲۴۰°، ۳۰۰°) که در کل ۲۴ حالت است، چرخانده می شوند (جانسن، لهما و ون دورن^۴، ۲۰۱۲)، (شکل ۲) و هر حالت سه بار به شکل تصادفی تکرار خواهد شد که در مجموع ۷۲ تصویر به شکل تصادفی نمایش داده می شود.



شکل ۲. تصاویر دست در آزمون چرخش ذهنی

میانگین زمان هر آزمایش ۵۲۰۰ میلی ثانیه است و در هر آزمایش ابتدا تصویر پیش دوره (کراس +) با طول ۵۰۰ میلی ثانیه سپس محرک دیداری با طول ۳۵۰۰ میلی ثانیه روی صفحه نمایش می ماند. سپس صفحه سفید

در قسمت استنباطی ابتدا نرمال بودن داده ها با آزمون کولموگروف اسمیرنوف بررسی و برای تعیین تفاوت های درون گروهی و بین گروهی به ترتیب از آزمون تی همبسته و آزمون تی مستقل استفاده گردید. کلیه محاسبات با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۵ در سطح معناداری معادل ۰/۰۵ انجام شد.

ابزار به کارگرفته شده در این پژوهش عبارتند از پرسشنامه تست دست غالب ادینبورگ: مقیاس برتری دستی ادینبورگ پرسشنامه ای ۱۰ موردی است که برتری دستی را در ۱۰ مهارت یک دستی که شامل: نوشتن، کشیدن شکل، پرت کردن، قیچی کردن، مسواک زدن، استفاده از کارت، استفاده از قاشق، جارو کردن، کبریت زدن و باز کردن درب قوطی را می سنجد. در این مقیاس، آزمودنی هرکدام از اعمال یاد شده را با انتخاب یکی از گزینه های: همواره استفاده از دست راست (+۱۰)، معمولاً استفاده از دست راست (+۵)، همواره استفاده از دست چپ (-۱۰)، معمولاً استفاده از دست چپ (-۵) و عدم تفاوت در استفاده از دست راست یا چپ (۰) مشخص می کند. در نهایت نمرات جمع می شوند و هرکدام از دست ها که مجموع نمرات و بیشتر کسب نماید به عنوان دست برتر عنوان می شود (میلنکوویک، دراگوویچ^۱، ۲۰۱۳).

آزمون کامپیوتری چرخش ذهنی تصاویر دست: آزمون چرخش ذهنی مورد استفاده تصاویر سیاه و سفیدی از دو دست راست و

2. Parsons
3. PsyTask
4. Jansen, Lehmann & VanDoren

1. Milenkovic & Dragovic

یوسف مقدس تبریزی و همکاران: اثرات یک جلسه تحریک الکتریکی مستقیم فراجمه‌ای بر چرخش ذهنی تصاویر دست و حافظه دیداری فضایی با میانگین زمانی ۱۰۰۰ میلی‌ثانیه نمایش داده می‌شود (چن، بین، دالی و گائو^۱، ۲۰۱۳) و آزمودنی‌ها تا انتهای این مرحله می‌توانند به محرک پاسخ بدهند و بلافاصله بعد از این مرحله آزمایش بعدی شروع می‌شود. هر بار تصویر یک دست که چرخیده شده به نمایش در می‌آید و از آزمودنی خواسته شده با سرعت و دقت تشخیص بدهد که این تصویر مربوط به دست راست است یا چپ و سپس جواب خود را با فشردن دکمه‌های صفحه‌کلید کامپیوتر اعلام می‌کند (بدین صورت که اگر دست راست بود فلش سمت راست صفحه‌کلید را با انگشت اشاره دست راست و اگر دست چپ بود فلش سمت چپ را با انگشت اشاره دست چپ فشار می‌دهد) این نرم‌افزار سرعت پاسخ (RT) و دقت پاسخ را اندازه می‌گیرد.

آزمون کامپیوتری حافظه دیداری-فضایی: برای سنجش حافظه دیداری-فضایی از تست کامپیوتری کرسی^۲ استفاده گردید. این آزمون به این صورت است که تعداد ۹ مربع آبی رنگ که به شکل تصادفی در یک صفحه نمایشگر به رنگ زرد به مدت ۵۰۰ میلی‌ثانیه تغییر رنگ می‌دهد و از شرکت کنندگان خواسته می‌شود مکان و ترتیب تغییر رنگ مربع‌ها را حفظ کنند و حداکثر در عرض ۵ ثانیه اجرا کنند. تعداد مربع‌هایی که زرد می‌شود از دو مربع شروع و به

تدریج زیاد می‌شود بدین صورت که در مرحله اول دو مربع، در مرحله دوم سه مربع و الی آخر. این آزمون دارای دو حالت است رو به جلو^۳ و رو به عقب^۴. در حالت رو به جلو فرد ترتیب روشن شدن مربع‌ها را به خاطر سپرده و اجرا می‌کند. در حالت دوم یعنی رو به عقب از آخرین مربع روشن شده به اولین (در جهت عکس ترتیب روشن شدن) را اجرا می‌کند (شکل ۲). پیشرفت از یک مرحله به مرحله بعدی آزمون با پاسخ صحیح صورت می‌گیرد و تا آنجایی که فرد دو اشتباه متوالی انجام دهد ادامه دارد. بعد از اتمام آزمون خروجی نرم‌افزار شامل فراخنای حافظه (تعداد مربع‌های آخرین مرحله که پاسخ درست داده شده در دو حالت رو به جلو و رو به عقب) و زمان پاسخ است. این تکلیف براساس اطلاعات حاصل از طراحی پژوهش کیسلز، ون‌زندوورت پسم، کاپلی و دی‌هان^۵ (۲۰۰۰) در محیط html طراحی گردید.

دستگاه tDCS: دستگاه مورد استفاده در پژوهش حاضر سیستم اکتیوادوز^۶ بود. حداکثر جریان ایجادی آن شامل ۴ میلی‌آمپر است و دارای دو الکتروود آند (مثبت) و کاتد (منفی) است که درون پد اسفنجی با ابعاد 35 CM^2 قرار می‌گیرند و پس از آغشته شدن پدها به محلول رسانا (کلرید سدیم ۹ درصد) که هم جریان

3. Forward

4. Backward

5. Kessels, Van Zandvoort, Postma, Kappelle & De Haan

6. Active Dose

1. Chen, Bin, Daly & Gao

2. Corsi block tapping test

یافته‌ها

رسانایی را افزایش می‌دهد و هم از افزایش حرارت پدها جلوگیری می‌کند، روی نقاط مشخصی از پوست سر نصب و جریان ثابت الکتریکی از روی مجسمه به مغز می‌رسد. دستگاه از نظر شدت جریان، زمان اعمال تحریک، اندازه الکتروود قابل کنترل است.

داده‌های حاصل از آزمون کامپیوتری چرخش ذهنی تصاویر دست (جدول ۱) به تفکیک گروه (تحریک، شم) و نقطه (F4 و P4) ارائه شده است.

جدول ۱. میانگین و انحراف استاندارد زمان پاسخ و دقت پاسخ به تفکیک نقطه و گروه در پیش‌آزمون و پس‌آزمون چرخش ذهنی تصاویر دست

نقطه	گروه	متغیر	مرحله	تعداد	میانگین	انحراف استاندارد
F4	تحریک	زمان پاسخ*	پیش‌آزمون	۱۳	۱۶۳۴/۴۷	۲۳۰/۶۵
			پس‌آزمون	۱۳	۱۰۳۰/۲۱	۷۰/۲۹
	دقت پاسخ	پیش‌آزمون	۱۳	۹۳/۹۸	۳/۶۳	
		پس‌آزمون	۱۳	۹۸/۱۳	۲/۲۱	
شم	زمان پاسخ*	پیش‌آزمون	۱۵	۱۵۷۴/۹۸	۲۶۳/۴۱	
		پس‌آزمون	۱۵	۱۶۰۱/۰۴	۲۵۱/۳۸	
	دقت پاسخ	پیش‌آزمون	۱۵	۹۳/۲۲	۵/۱۷	
		پس‌آزمون	۱۵	۹۵/۲۳	۵/۲۹	
P4	تحریک	زمان پاسخ*	پیش‌آزمون	۱۴	۱۶۱۴/۶۱	۲۶۲/۱۲
			پس‌آزمون	۱۴	۱۳۲۶/۴۹	۲۱۴/۷۷
		دقت پاسخ	پیش‌آزمون	۱۴	۹۳/۵۱	۵/۰۲
			پس‌آزمون	۱۴	۹۵/۲۳	۴/۴۶
	شم	زمان پاسخ*	پیش‌آزمون	۱۲	۱۷۶۳/۶۲	۳۱۰/۱۶
			پس‌آزمون	۱۲	۱۷۴۷/۶۳	۳۰۲/۴۸
		دقت پاسخ	پیش‌آزمون	۱۲	۹۳/۰۵	۴/۲۶
			پس‌آزمون	۱۲	۹۲/۶۳	۴/۳۷

*زمان پاسخ برحسب میلی‌ثانیه است. **دقت پاسخ برحسب درصد بیان شده است.

تفکیک گروه و نقطه که در جدول ۲ قابل مشاهده است.

در مقایسه بین دو گروه تحریک و شم در پیش‌آزمون در هر دو نقطه تفاوت معناداری مشاهده نشد. همچنین حافظه دیداری-فضایی به

یوسف مقدس تبریزی و همکاران: اثرات یک جلسه تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای بر چرخش ذهنی تصاویر دست و حافظه دیداری فضایی جدول ۲. میانگین و انحراف استاندارد زمان پاسخ و فراخنا (رو به جلو و رو به عقب) به تفکیک نقطه، گروه در پیش‌آزمون و

پس‌آزمون آزمون حافظه دیداری فضایی

نقطه	گروه	متغیر	مرحله	تعداد	میانگین	انحراف استاندارد
F4	اول	زمان پاسخ رو به جلو*	پیش‌آزمون	۱۴	۲۴۷۱/۲۸	۲۳۱/۸۴
			پس‌آزمون	۱۴	۲۰۳۴/۷۲	۱۳۱/۸۹
		فراخنا رو به جلو**	پیش‌آزمون	۱۴	۵/۹۳	۰/۶۱
			پس‌آزمون	۱۴	۶/۵۰	۰/۹۴
		زمان پاسخ رو به جلو*	پیش‌آزمون	۱۴	۲۷۰۴/۵۵	۱۵۹/۲۰
			پس‌آزمون	۱۴	۲۴۷۰/۵۱	۱۷۵/۸۹
	فراخنا رو به جلو**	پیش‌آزمون	۱۴	۵/۱۴	۰/۶۶	
		پس‌آزمون	۱۴	۵/۴۳	۰/۶۴	
	ثانی	زمان پاسخ رو به جلو*	پیش‌آزمون	۱۳	۲۵۰۵/۸۱	۱۵۵/۳۳
			پس‌آزمون	۱۳	۲۴۵۰/۹۲	۱۱۰/۲۱
		فراخنا رو به جلو**	پیش‌آزمون	۱۳	۵/۴۶	۰/۸۷
			پس‌آزمون	۱۳	۵/۵۴	۰/۸۷
زمان پاسخ رو به جلو*		پیش‌آزمون	۱۳	۲۶۸۴/۶۶	۱۷۵/۵	
		پس‌آزمون	۱۳	۲۶۳۱/۸۲	۱۶۷/۵۹	
فراخنا رو به جلو**		پیش‌آزمون	۱۳	۵/۰۸	۰/۹۵	
		پس‌آزمون	۱۳	۵	۰/۷۰	

* زمان پاسخ رو به جلو و رو به عقب برحسب میلی‌ثانیه است. ** منظور از فراخنا تعداد مرحله‌ای است که فرد در آزمون حافظه دیداری فضایی پیشرفت کرده است که با تعداد بیان شده است.

در ادامه به منظور بررسی تفاوت دو نقطه در متغیرهای اندازه‌گیری شده از آزمون تی مستقل استفاده گردید که نتایج نشان داد بین دو نقطه F4 و P4 در زمان پاسخ ($t=-۴/۷۳$ ، $df=۲۵$ ، $sig=۰/۰۰$) و دقت پاسخ ($t=۲/۱۰$ ، $df=۲۵$ ، $sig=۰/۰۴$) در گروه تحریک تفاوت معناداری وجود دارد و در بررسی میانگین‌ها مشخص شد که در نقطه F4 آزمودنی‌ها عملکرد بهتری نسبت به نقطه P4 داشته‌اند (جدول ۱).

الف) تصویرسازی حرکتی: ابتدا به منظور بررسی اثربخشی tDCS بر زمان پاسخ و دقت پاسخ تصویرسازی حرکتی نتایج پیش‌آزمون و پس‌آزمون با استفاده از تی همبسته مقایسه شد. نتایج نشان داد در هر دو نقطه تفاوت معناداری وجود دارد (جدول ۳) و در بررسی میانگین‌ها مشخص شد که در نقطه F4 آزمودنی‌ها عملکرد بهتری نسبت به نقطه P4 در هر دو متغیر زمان پاسخ و دقت پاسخ داشته‌اند (جدول ۱).

جدول ۳. مقایسه میانگین نمرات پیش‌آزمون و پس‌آزمون تصویرسازی حرکتی با استفاده از آزمون تی همبسته

گروه	نقطه	متغیر	t	df	sig
آنودال	F4	زمان پاسخ	۱۰/۳۷	۱۲	۰/۰۰
		دقت پاسخ	-۴/۷۶	۱۲	۰/۰۰
	P4	زمان پاسخ	۶/۲۴	۱۳	۰/۰۰
		دقت پاسخ	-۴/۴۲	۱۳	۰/۰۰
شم	F4	زمان پاسخ	۳۸/۷	۱۴	۰/۴۰
		دقت پاسخ	۳/۰۸	۱۴	۰/۲۶
	P4	زمان پاسخ	۷۰/۲۲	۱۱	۰/۵۳
		دقت پاسخ	۱/۹۳	۱۱	۰/۵۵

بین نتایج پیش‌آزمون و پس‌آزمون در هر دو شکل آزمون (رو به جلو و رو به عقب) تفاوت معناداری وجود دارد ($P < ۰/۰۵$). در بررسی نتایج گروه شم مشخص گردید که بین میانگین نمرات پیش‌آزمون و پس‌آزمون در هیچ کدام از متغیرها تفاوت معناداری وجود ندارد (جدول ۴).

ب) حافظه دیداری فضایی: در بررسی نتایج حافظه دیداری فضایی ابتدا به بررسی اثرات tDCS بر زمان پاسخ و فراخنای حافظه به دو صورت رو به جلو و رو به عقب در دو نقطه (F4 و P4) و در دو گروه (تحریک، شم) پرداخته شد. همان طور که نتایج نشان می‌دهد در گروه تحریک در هر دو نقطه‌ی F4 و P4

جدول ۴. مقایسه میانگین نمرات پیش‌آزمون و پس‌آزمون حافظه دیداری فضایی با استفاده از آزمون تی همبسته

گروه	نقطه	متغیر	t	df	sig
۱-۳	F4	زمان پاسخ رو به جلو	۸/۴۱	۱۳	۰/۰۰
		فراخنا رو به جلو	-۲/۲۸	۱۳	۰/۰۴
		زمان پاسخ رو به عقب	۳/۶۲	۱۳	۰/۰۰
		فراخنا رو به عقب	-۲/۲۸	۱۳	۰/۰۴
	P4	زمان پاسخ رو به جلو	۵/۳۷	۱۲	۰/۰۰
		فراخنا رو به جلو	-۶/۸۸	۱۲	۰/۰۰
		زمان پاسخ رو به عقب	۴/۷۹	۱۲	۰/۰۰
		فراخنا رو به عقب	-۳/۴۱	۱۲	۰/۰۰
۲-۳	F4	زمان پاسخ رو به جلو	۱/۲۲	۱۲	۰/۲۴
		فراخنا رو به جلو	-۰/۳۶	۱۲	۰/۷۲
		زمان پاسخ رو به عقب	۰/۷۹	۱۲	۰/۴۴
		فراخنا رو به عقب	۰/۲۲	۱۲	۰/۸۲
	P4	زمان پاسخ رو به جلو	۰/۶۷	۱۳	۰/۵۱
		فراخنا رو به جلو	-۱/۱۴	۱۳	۰/۲۷
		زمان پاسخ رو به عقب	۰/۹۱	۱۳	۰/۳۷
		فراخنا رو به عقب	۰/۸۰	۱۳	۰/۴۳

یوسف مقدس تبریزی و همکاران: اثرات یک جلسه تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای بر چرخش ذهنی تصاویر دست و حافظه دیداری فضایی در ادامه پس از مشخص شدن تغییرات درون‌گروهی و معناداری آن در گروه تحریک به منظور بررسی تفاوت دو نقطه (F4 و P4) با استفاده از آزمون تی مستقل نتایج بررسی شد که اطلاعات حاصل نشان داد که تنها در زمان

جدول ۵. مقایسه میانگین نمرات زمان پاسخ و فراخنا در حافظه کاری فضایی در دو نقطه F4 و P4 با استفاده از آزمون تی مستقل

گروه	متغیر	t	df	sig
۱-۳ ۲-۳	زمان پاسخ رو به جلو	-۶/۲۹	۲۵	۰/۰۰
	فراخنا رو به جلو	-۰/۸۲	۲۵	۰/۴۱
	زمان پاسخ رو به جلو	-۰/۹۳	۲۵	۰/۳۶
	فراخنا رو به جلو	-۰/۹۸	۲۵	۰/۳۳

(۲۷) تقسیم و هرکدام از آن‌ها هم در دو زیرگروه F4 و P4 توزیع شدند (در مجموع چهار گروه). ابتدا به منظور بررسی اثربخشی tDCS بر تکلیف چرخش تصاویر دست تغییرات درون‌گروهی نشان دادند که در گروه تحریک در پس آزمون با سرعت بیشتر و دقت بالاتر پاسخ داده‌اند، اما در گروه شم تفاوت معناداری مشاهده نشد؛ همچنین در ادامه برای مقایسه نتایج تحریک بین دو نقطه مشخص شد که بین F4 و P4 در زمان پاسخ و دقت پاسخ تفاوت معناداری وجود دارد و بررسی میانگین‌ها (جدول ۱) نشان داد آزمودنی‌ها در نقطه F4 سریع‌تر و با دقت بیشتری به آزمون چرخش ذهنی تصاویر دست پاسخ داده‌اند. در نتایج مربوط به حافظه دیداری-فضایی نیز ابتدا تغییرات درون‌گروهی بررسی و مشخص شد که در گروه تحریک، در هر دو نقطه F4 و P4 در حالت رو به

اطلاعات حاصل نشان داد که تنها در زمان پاسخ رو به جلو بین دو نقطه تفاوت معناداری وجود دارد ($P < 0/05$). در بررسی میانگین‌ها مشخص شد زمان عکس‌العمل در نقطه F4 کوتاه‌تر و بهتر بوده و در گروه شم تفاوت معناداری بین دو نقطه مشاهده نشد.

بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر به منظور بررسی اثرات یک جلسه tDCS بر چرخش ذهنی تصاویر دست و حافظه کاری فضایی در دو ناحیه پره فرونتال (نقطه F4) و پاریتال (نقطه P4) انجام شد. در این راستا ۵۴ نفر آزمودنی سالم راست دست (بر اساس مقیاس دست برتری ادینبورگ) و با توجه به معیارهای ورود-خروج انتخاب شدند، سپس به صورت تصادفی در دو گروه تحریک (۲۷) و شم

DLPFC باعث بهبود حافظه کاری می‌شود، همچنین زمانی و دوستان (۱۳۹۶) نشان دادند که تحریک الکتریکی مستقیم قشر پیش‌پیشانی باعث بهبود عملکرد حافظه کاری می‌شود. اثری که A-tDCS بر جای می‌گذارد مربوط به فعال سازی نورن‌های موجود در ناحیه‌ای که تحریک اتفاق می‌افتد است، اثر آن به این صورت است که باعث تغییر در تحریک پذیری کورتکس می‌شود که نه تنها شلیک^۴ خود به خودی نورن‌ها را با تغییر پتانسیل الکتریکی غشا تغییر می‌دهد بلکه با تغییر عملکرد سیناپس‌ها به ایجاد تغییرات نورو پلاستیک^۵ کمک می‌کند (ماده‌اوان و شاه^۶، ۲۰۱۲).

حافظه کاری بخشی از حافظه کوتاه‌مدت^۷ (LTM) است که اطلاعات برگرفته از ذخیره حسی کوتاه‌مدت^۸ (STSS) می‌تواند در آن به منظور پردازش، گردآوری شوند. همچنین اطلاعاتی که به شکل برنامه‌های حرکتی ذخیره شده‌اند یا اطلاعات دیگری که در مورد یک تکلیف به‌خوبی یاد گرفته شده‌اند هستند نیز می‌توانند از حافظه بلند مدت^۹ (LTM) بازیابی (اندرسون^{۱۰}، ۱۹۹۰. به نقل از اشمیت و لی^{۱۱}، ۲۰۱۳، ص: ۱۳۷) تا پردازش شوند. در واقع حافظه کاری محلی برای ایجاد و اصلاح طرح عمل برای ایجاد عملکرد است (اشمیت و همکاران، ۲۰۱۳).

جلو و رو به عقب در زمان پاسخ و فراخنا تفاوت معناداری بین میانگین نمرات پیش آزمون و پس آزمون وجود داشت، اما گروه شم تفاوت معناداری را نشان نداد، در نهایت تفاوت بین دو نقطه در اثر بخشی بر حافظه دیداری-فضایی هم بررسی و نشان داده شد که تنها در زمان پاسخ رو به جلو بین دو نقطه تفاوت معنادار وجود دارد، بررسی میانگین‌ها هم نشان داد که آزمودنی‌ها در زمان پاسخ رو به جلو در نقطه F4 سریع‌تر پاسخ داده‌اند (جدول ۲).

مطالعات قبلی فعالیت نواحی پره فرونتال و پاریتال در طول تکالیف دیداری-فضایی (دیوادکار، کارپنتر و جاست^۱، ۲۰۰۰) و چرخش ذهنی (شپرد و متزler^۲، ۱۹۷۱) را با استفاده از اف ام آر آی نشان داده‌اند. در این مطالعه قشر پیش‌پیشانی سمت راست معادل نقطه F4 و قشر آهیانه خلفی سمت راست معادل نقطه P4 انتخاب شدند. یافته‌ها نشان داد که tDCS در قشر پیش‌پیشانی و آهیانه نیمکره راست می‌تواند باعث بهبود در توان تصویرسازی حرکتی و حافظه دیداری-فضایی شود. در بررسی مطالعات قبلی فورستر و همکاران (۲۰۱۳) اثرات مثبت tDCS بر قشر حرکتی را نشان داده‌اند. همچنین مطالعات فراوانی، اثربخشی tDCS را بر حافظه کاری مشخص کرده‌اند (اوهن، پارک، یوو^۳، و همکاران، ۲۰۰۸. دومونت و همکاران، ۲۰۱۷)، برای مثال ارکان و یاریاری (۱۳۹۳) در مطالعه‌ای به بررسی تاثیر tDCS بر روی حافظه کاری پرداختند که در نهایت نتایج نشان داد تحریک آندی ناحیه

4. Firing
5. Neuro Plastics
6. Madhavan & Shah
7. Short-term memory
8. Short-term sensory store
9. Long Term Memory
10. Anderson
11. Schmidt & Lee

1. Diwadkar, Carpenter & Just
2. Shepard & Metzler
3. Ohn, Park & Yoo

یوسف مقدس تبریزی و همکاران: اثرات یک جلسه تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای بر چرخش ذهنی تصاویر دست و حافظه دیداری فضایی WM محلی برای ایجاد و استفاده از تصویرسازی است.

در مقایسه بین دو ناحیه، یافته‌های مطالعه حاضر نشان داد آزمودنی‌ها در آزمون چرخش ذهنی تصاویر دست در هر دو متغیر زمان پاسخ و دقت پاسخ عملکرد بهتری را در نقطه F4 نسبت به نقطه P4 نشان دادند، در آزمون حافظه دیداری-فضایی نیز آزمودنی‌ها در متغیر زمان پاسخ رو به جلو در نقطه - F4 نتایج بهتری را نسبت به P4 نشان دادند، در تبیین این یافته‌ها نیز مشخص گردیده که قشر پیش پیشانی به عنوان یک مرکز کارکرد اجرایی (لهمان^۱ و همکاران، ۲۰۱۴) و قشر آهیانه خلفی به محل اثرگذار در تکالیف دیداری-فضایی (اوهن، پارک، یوو و همکاران، ۲۰۰۸) شناخته شده است، بنابراین تحریک F4 می‌تواند اثرات بیشتری را به همراه داشته باشد که در تأیید این یافته در مطالعه‌ای که به بررسی اثرات تحریک الکتریکی بر قشر پیش پیشانی راست و چپ پرداخته بود اثرات بیشتر قشر پیش پیشانی راست بر عملکرد برنامه‌ریزی شده نشان داده شد (هینز^۲ و همکاران، ۲۰۱۴)؛ که این یافته‌ها می‌تواند دلالت بر اثرات tDCS بر عملکرد اجرایی کند (دوروک^۳ و همکاران، ۲۰۱۴).

تصویرسازی ذهنی به طور فزاینده‌ای به عنوان یک استراتژی مداخله‌ای به منظور افزایش عملکرد ورزشی و همچنین بهبود عملکرد تکالیف حرکتی در باز توانی مورد استفاده قرار می‌گیرد (کامینگ و

در تعریف تصویرسازی اشاره شده که "تصویرسازی را به‌عنوان استفاده از همه حس‌ها به منظور باز آفرینی یا ایجاد یک تجربه در غیاب محرک‌های خارجی تعریف می‌کنند" (والری و گرینلیف، ۲۰۰۱) در این تعریف باز آفرینی نکته اصلی است که اشاره به رجوع به حافظه به منظور تصویرسازی است و از آنجایی که تصویرسازی در ورزش برای تمرین مهارت‌ها و برنامه‌های حرکتی است این تصاویر از حافظه بلندمدت فراخوانی شده (یداله زاده، ۱۳۹۳) و در حافظه کوتاه‌مدت پردازش می‌شود (اشمیت و همکاران، ۲۰۱۳)، از طرفی نکته مهمی در درک تصویرسازی این است که تصویرسازی تجربه‌ای چند حسی است پس یک حس یا همه حواس را در بر می‌گیرد، حس‌های جنبشی، شنوایی، لامسه و بویایی (اطلاعات حاصل از آوران حسی) همه به طور بالقوه‌ای مهم هستند و استفاده بیشتر از یک حس به ایجاد تصاویر روشن‌تر و واضح‌تر و به طور کلی ایجاد تجربه واقعی‌تر کمک می‌کند بنابراین استفاده از حواس بیشتر، وضوح و تاثیر تصویرسازی را بیشتر می‌کند (یداله زاده، ۱۳۹۳، ص: ۴۳)؛ گفته شده که حافظه کاری محیطی را برای پردازش اطلاعات ذخیره‌شده در LTM و نیز STSS که اطلاعات حاصل از آوران حسی (که اطلاعات حسی مختلف) است فراهم می‌کند (اشمیت و همکاران، ۲۰۱۳)، بنابراین موارد ذکر شده نشان از اهمیت و وجود رابطه میان WM و تصویرسازی است. بر اساس موارد مذکور می‌توان عنوان کرد که

1. Lehmann
2. Heinze
3. Doruk

بهبود تصویرسازی حرکتی (سرعت و دقت تصویرسازی) سود جست و از سوی دیگر تاثیر تحریک الکتریکی مغز بر حافظه دیداری-فضایی به عنوان بستری در تصویرسازی ذهنی نیز مشاهده گردید، بنابراین استفاده از tDCS برای بهبود توان تصویرسازی حرکتی در ورزشکاران و نیز در باز توانی توصیه می‌گردد.

در پژوهش حاضر یافته‌ای جانبی نیز مشاهده شد که آزمودنی‌ها در پاسخ به آزمون چرخش ذهنی به تصاویر دست چپ سریع‌تر از دست راست پاسخ داده بودند که با توجه به اینکه تحریک در نیمکره راست مغز اعمال گردید لذا آن را می‌توان مربوط به کنترل متقاطع اعضا توسط نیمکره‌های مغز دانست. همچنین در بررسی اثرات جنسیت در هر دو آزمون چرخش ذهنی تصاویر دست و حافظه دیداری فضایی تفاوتی بین دو جنس مشاهده نشد. از محدودیت‌های مطالعه حاضر می‌توان به عدم بررسی و مقایسه اثرات tDCS در هر دو نیمکره اشاره کرد. در پایان بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر می‌توان عنوان نمود که از tDCS در نواحی پره فرونتال و پاریتال برای بهبود در تصویرسازی حرکتی و نیز حافظه دیداری-فضایی می‌توان سود جست.

قدردانی

پژوهش حاضر با استفاده از اعتبارات معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه تهران (شماره طرح: ۲۵۲۸۰/۱/۰۱) انجام شده و از تمامی دانشجویان دانشکده تربیت بدنی دانشگاه تهران که نهایت همکاری را در انجام پژوهش حاضر داشتند صمیمانه تقدیر و تشکر می‌گردد..

ویلیامز^۱، (۲۰۱۲). هال و همکاران (۱۹۹۸) اظهار کردند که تصویرسازی ذهنی به طور معنی‌داری بر عملکرد ورزشکاران مبتدی و ماهر تأثیرگذار است. فرض بر این است که تصویرسازی ذهنی فعالیت، چگونگی تصور یک عمل در ذهن را به منظور برنامه‌ریزی برای اقدام مؤثر فراهم می‌کند (گابارد، کاچولا و بویو^۲، ۲۰۱۱) و نیز همان ساز و کارهای عصبی که در یادگیری با تمرین فیزیکی شرکت دارند، در تمرین ذهنی نیز فعال می‌شوند (حمایت طلب و همکاران، ۱۳۸۶). در واقع تمرین به وسیله تصویرسازی ذهنی می‌تواند همانند تمرین بدنی، سازمان‌دهی عصبی مشترکی را ایجاد کند (هرمنس و همکاران، ۲۰۱۲). همچنین با توجه به اظهارات پژوهشگران، استفاده از تصویرسازی ذهنی برای شبیه‌سازی حرکات با تمرین دادن مناطقی از مغز که بین اجرای فیزیکی و تصویرسازی مشترک هستند، می‌تواند عملکرد را تسهیل و باعث سرعت بخشیدن در امر یادگیری شود (کامینگ و ویلیامز، ۲۰۱۳). تحقیقات نشان می‌دهد که توانایی تصویرسازی را می‌توان با تمرین برای بهبود عملکرد حرکتی و یادگیری مهارت‌ها بهبود بخشید (کامینگ و همکاران، ۲۰۱۳). مطابق با نظر مریان، تصویرسازی ذهنی، مفیدترین مهارت روانی است که یک اجراکننده می‌تواند از آن استفاده و بیش از هر روش دیگر برای بهبود عملکرد به کار گیرد (ناکس تد^۳، ۲۰۱۱). با توجه به یافته‌های اخیر مشخص شد که می‌توان از تحریک الکتریکی فرا جمجمه‌ای به منظور

1. Cumming & Williams
2. Gabbard, Caçola & Bobbio
3. Knackstedt

منابع

- زمانی، گل اندام و دوستان، محمدرضا. (۱۳۹۶). تأثیر تحریک الکتریکی فراجمجه ای مغز بر حافظه کاری و زمان واکنش دختران ورزشکار. *فصلنامه علمی - پژوهشی عصب روانشناسی*، ۳(۱۰)، ۵۱-۶۲.
- شاهمرادی، سپیده و اورکی، محمد. (۱۳۹۷). تأثیر تحریک فراجمجه ای مغز با استفاده از جریان مستقیم الکتریکی (TDCS) بر حافظه کاری و شدت نشانه های افسردگی. *فصلنامه علمی - پژوهشی عصب روانشناسی*، ۴(۱۵)، ۷۵-۸۱.
- Beste, C., Heil, M., Domschke, K., & Konrad, C. (2010). The relevance of the functional 5-HT1A receptor polymorphism for attention and working memory processes during mental rotation of characters. *Neuropsychologia*, 48(5), 1248-1254.
- Bruno, V., Fossataro, C., Bolognini, N., Zigiotta, L., Vallar, G., Berti, A., & Garbarini, F. (2017). The role of premotor and parietal cortex during monitoring of involuntary movement: A combined TMS and tDCS study. *Cortex*, 96, 83-94.
- Chen, X., Bin, G., Daly, I., & Gao, X. (2013). Event-related desynchronization (ERD) in the alpha band during a hand mental rotation task. *Neuroscience letters*, 541, 238-242.
- Cumming, J., & Williams, S. E. (2013). Introducing the revised applied model of deliberate imagery use for sport, dance, exercise, and rehabilitation. *Movement & Sport Sciences-Science & Motricité*, (82), 69-81.
- Diwadkar, V. A., Carpenter, P. A., & Just, M. A. (2000). Collaborative activity between parietal and dorso-lateral prefrontal cortex in dynamic spatial working memory revealed by fMRI. *Neuroimage*, 12(1), 85-99.

- Doruk, D., Gray, Z., Bravo, G. L., Pascual-Leone, A., & Fregni, Kessels, R. P., Van Zandvoort, M. J., Postma, A., Kappelle, L. J., & De Haan, E. H. (2000). The Corsi block-tapping task: standardization and normative data. *Applied neuropsychology*, 7(4), 252-258.
- Kosslyn, S. M., DiGirolamo, G. J., Thompson, W. L., & Alpert, N. M. (1998). Mental rotation of objects versus hands: Neural mechanisms revealed by positron emission tomography. *Psychophysiology*, 35(2), 151-161.
- Linn, M. C., & Petersen, A. C. (1986). A meta-analysis of gender differences in spatial ability: Implications for mathematics and science achievement. The psychology of gender: Advances through meta-analysis, 67-101.
- Madhavan, S., & Shah, B. (2012). Enhancing motor skill learning with transcranial direct current stimulation—a concise review with applications to stroke. *Frontiers in psychiatry*, 3, 66.
- Maeda, Y., & Yoon, S. Y. (2013). A meta-analysis on gender differences in mental rotation ability measured by the Purdue spatial visualization tests: Visualization of rotations (PSVT: R). *Educational Psychology Review*, 25(1), 69-94.
- Milenkovic, S., & Dragovic, M. (2013). Modification of the Edinburgh Handedness Inventory: a replication study. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition*, 18(3), 340-348.
- Mondino, M., Bennabi, D., Poulet, E., Galvao, F., Brunelin, J., & Haffen, E. (2014). Can transcranial direct current stimulation (tDCS) alleviate symptoms and improve cognition in psychiatric disorders?. *The World Journal of Biological Psychiatry*, 15(4), 261-275.
- Nitsche, M. A., & Paulus, W. (2001). Sustained excitability elevations induced by transcranial DC motor cortex stimulation in humans. *Neurology*, 57(10), 1899-1901.
- Parsons, L. M. (1994). Temporal and kinematic properties of motor behavior reflected in mentally simulated action. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20(4), 709.
- Reis, J., Robertson, E., Krakauer, J. W., Rothwell, J., Marshall, L., Gerloff, C ... & Classen, J. (2008). Consensus: "Can tDCS and TMS enhance motor learning and memory formation?" *Brain stimulation*, 1(4), 363.
- Rodriguez-Ugarte, M., Iáñez, E., Ortiz-Garcia, M., & Azorín, J. (2018). Effects of tDCS on Real-Time BCI Detection of Pedaling Motor Imagery. *Sensors*, 18(4), 1136. *Systems*

- and Rehabilitation Engineering*, 21(3), 404-415.
- Sadock, B. J., Sadock, V. A., & Kaplan, H. I. (2009). *Kaplan and Sadock's concise textbook of child and adolescent psychiatry*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Schmidt, R. A., Lee, T., Winstein, C., Wulf, G., & Zelaznik, H. (2018). *Motor Control and Learning*, 6E. Human kinetics.
- Schmidt, R., & Lee, T. (2013). *Motor Learning and performance*, 5E with web study guide: from principles to application. Human Kinetics.
- Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171(3972), 701-703.
- Simonsmeier, B. A., & Buecker, S. (2017). Interrelations of imagery use, imagery ability, and performance in young athletes. *Journal of Applied Sport Psychology*, 29(1), 32-43.
- Subirats, L., Allali, G., Briansoulet, M., Salle, J. Y., & Perrochon, A. (2018). Age and gender differences in motor imagery. *Journal of the neurological sciences*, 391, 114-117.
- Tseng, P., Hsu, T. Y., Chang, C. F., Tzeng, O. J., Hung, D. L., Muggleton, N. G., et al. (2012). Unleashing potential: Transcranial direct current stimulation over the right posterior parietal cortex improves change detection in low-performing individuals. *Journal of Neuroscience*, 32(31), 10554–10561.
- Utz, K. S., Dimova, V., Oppenländer, K., & Kerkhoff, G. (2010). Electrified minds: Transcranial direct current stimulation (tDCS) and Galvanic Vestibular Stimulation (GVS) as methods of noninvasive brain stimulation in neuropsychology. A review of current data and future implications. *Neuropsychologia*, 48, 2789–2810.
- Vicario, C. M., & Nitsche, M. A. (2013). Non-invasive brain stimulation for the treatment of brain diseases in childhood and adolescence: state of the art, current limits and future challenges. *Frontiers in systems neuroscience*, 7, 94.
- Wei, P., He, W., Zhou, Y., & Wang, L. (2013). Performance of motor imagery brain-computer interface based on anodal transcranial direct current stimulation modulation. *IEEE Transactions on Neural*