

Comparison of the Effectiveness of Different transcranial direct current stimulation Protocols (tDCS) with Cognitive Exercises in Improving Response Inhibition in Normal Individuals

Milad Amini Masouleh¹, Samira Ghazanfariyan Pour², Mansour Beirami³

1-MSc in Cognitive Science, Department of psychology, Faculty of Education & Psychology. Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran (Corresponding Author). ORCID: 0000-0002-7282-4370

E-mail: milad.amini.ma@gmail.com

2-PhD candidate in psychology, Department of psychology, Faculty of Education & Psychology, Tabriz University, Tabriz, Iran. ORCID: 0000-0002-3473-1974

3-professor of psychology, Department of psychology, Faculty of Education & Psychology. Tabriz University, Tabriz, Iran. ORCID: 0000-0002-5015-2585

Received: 23/01/2019

Accepted: 10/06/2019

Abstract

Introduction: Studies have shown that the anodal tDCS is able to increase the effectiveness of cognitive rehabilitation. On the other hand, results of recent studies have shown that unihemispheric concurrent dual-site a-tDCS could increase the corticospinal excitability.

Aim: The present study compares the effectiveness of unihemispheric concurrent dual-site a-tDCS and conventional tDCS, during cognitive exercises in improving the response inhibition of normal individuals.

Method: 21 subjects were randomly assigned into two experimental groups as well as a control group. First group received Anodal tDCS over the left DLPFC and M1, the second group received Anodal tDCS over the left DLPFC and Control group received sham a-tDCS. Transcranial direct current stimulation (tDCS) at 0.3 mA was applied directly for 30 minutes in 4 sessions. All subjects, after interventions in each session, performed the stop signal task. In Fifth session, In order to follow up the effectiveness of interventions, 24 hours after the interventions, subjects were re-evaluated.

Results: The results of repeated measurements analysis revealed that compared with conventional tDCS and control group, unihemispheric concurrent dual-site a-tDCS group had larger improvement in improving the response inhibition of normal individuals ($P.05$).

Conclusion: The results show that unihemispheric concurrent dual-site a-tDCS could enhance the effectiveness of cognitive exercises by increasing cortical excitability

Keywords: TDCS, Cognitive exercises, Response inhibition

How to cite this article : Amini Masouleh M, Ghazanfariyan Pour S, Beirami M. Comparison of the Effectiveness of Different transcranial direct current stimulation Protocols (tDCS) with Cognitive Exercises in Improving Response Inhibition in Normal Individuals. Shenakht Journal of Psychology and Psychiatry. 2019; 6 (3): 1-14 .URL: <http://shenakht.muk.ac.ir/article-1-603-fa.pdf>

Copyright © 2018 the Author (s). Published by Kurdistan University of Medical Sciences. This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Non Commercial License 4.0 (CCBY-NC), where it is permissible to download, share, remix, transform, and buildup the work provided it is properly cited. The work cannot be used commercially without permission from the journal.

مقایسه ی اثربخشی پروتکل های مختلف تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه ای (TDCS) به همراه تمرینات شناختی در ارتقای بازداري پاسخ افراد عادی

میلاذ امینی ماسوله^۱، سمیرا غضنفریان^۲، منصور بیرامی^۳

۱. کارشناسی ارشد علوم شناختی، گروه روانشناسی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران (مؤلف مسئول). ایمیل:

milad.amini.ma@gmail.com

۲. کاندیدای روانشناسی، گروه روانشناسی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۳. استاد تمام روانشناسی، گروه روانشناسی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۳/۲۰

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۱۱/۰۳

چکیده

مقدمه: پژوهش ها نشان دادند اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه ای آنودال سبب افزایش اثربخشی توانبخشی شناختی می گردد. از طرف دیگر نتایج پژوهش های اخیر نشان داد اعمال تحریک به صورت دو موضعی همزمان یک نیمکره ای می تواند تحریک پذیری قشری- نخاعی را افزایش دهد.

هدف: پژوهش حاضر به مقایسه ی اثربخشی تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه ای دو موضعی همزمان یک نیمکره ای و تحریک به روش مرسوم همراه تمرینات شناختی بر بهبود بازداري پاسخ افراد عادی پرداخته.

روش: ۲۱ آزمودنی به صورت تصادفی در دو گروه آزمایشی و کنترل شامل گروه اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه ای نواحی قشر حرکتی اولیه و قشر خلفی جانبی پیش پیشانی و گروه تحریک ناحیه ی قشر خلفی جانبی پیش پیشانی چپ و گروه کنترل تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه ای تصنعی قرار گرفتند. تحریک مستقیم ۰/۳ میلی آمپری، به مدت ۳۰ دقیقه در ۴ جلسه اعمال و پس از اعمال تحریک، تکلیف استاپ سیگنال اجرا شد. جلسه ی پنجم ۲۴ ساعت پس از تحریک، ارزیابی مجدد انجام شد.

یافته ها: تحلیل واریانس با اندازه گیری های مکرر نشان داد، اعمال تحریک جریان مستقیم الکتریکی فرا جمجمه ای آنودال دو موضعی همزمان یک نیمکره ای به همراه اجرای تمرینات شناختی، تفاوت معناداری در مقایسه با روش تحریکی مرسوم و گروه کنترل در اجرای تکلیف بازداري پاسخ دارد ($P=0/05$).

نتیجه گیری: تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه ای آنودال دو موضعی همزمان یک نیمکره ای از طریق افزایش تحریک پذیری قشری، اثربخشی تمرینات شناختی را افزایش داد.

کلیدواژه ها: تحریک جریان مستقیم الکتریکی فرا جمجمه ای، تمرینات شناختی، بازداري پاسخ

مقدمه

« توانایی رد نمودن^{۱۳} و خودداری از یک قصد و تمایل خودکارانه» تعریف نموده اند.

مطالعات پیرامون بازداری پاسخ در بین پژوهشگران به طور روزافزونی افزایش داشته است و پژوهش های بسیاری در دهه ی گذشته نشان داده اند که این کارکرد، با افزایش فعالیت در نواحی پشتی- میانی کورتکس پری فرونتال^{۱۴}، کورتکس پری فرونتال جانبی^{۱۵}، کورتکس پاریتال^{۱۶}، اینسولار^{۱۷} و پراکانئوس دو طرفه و شیار آنگولار چپ^{۱۸} و شیار گیجگاهی میانی راست^{۱۹}، مرتبط بوده است (گلدشتاین و ناگلیری، ۲۰۱۳).

در سال های اخیر، تکنیک های غیرتهاجمی تحریک مغزی مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است که می توانند منجر به تعدیل در تحریک پذیری و فعالیت کورتکسی و در نتیجه، ایجاد تغییرات در کارکردهای شناختی و رفتاری گردند (فونل^{۲۰}، ۲۰۱۴؛ کوو، پائولوس و نیچه^{۲۱}، ۲۰۱۴؛ زیمان^{۲۲}، پائولوس، نیچه و همکاران، ۲۰۰۷).

تحریک جریان مستقیم الکتریکی فرا جمجمه ای (tDCS)^{۲۳} از جمله ی چنین تکنیک هایی است. از حدود ۵۰ سال پیش نشان داده شده است که به کارگیری جریان های مستقیم زیر آستانه ای و نسبتاً ضعیف بر روی کورتکس حیوانات می تواند منجر به ایجاد تغییراتی قطبی در فعالیت کورتکسی و همچنین تحریک پذیری آن گردد که می تواند چندین ساعت پس از مداخله به طول بیانجامد (نیچه، لیتانز، آنتال و همکاران^{۲۴}، ۲۰۰۳؛ بیندمن،

کارکردهای شناختی مجموعه توانایی هایی را در برمی گیرد که ارتباط مستقیمی با فهم و ادراک وقایع زندگی روزمره و قابلیت تصمیم گیری و انطباق پذیری مناسب در شرایط گوناگون محیطی دارد (گورلیک و بولر^۱، ۲۰۰۸). از جمله انواع مختلف کارکردهای شناختی می توان کارکردهای اجرایی را ذکر نمود که اشاره به مجموعه عملکردهایی دارد که مرتبط با فعالیت قشر پیش پیشانی^۲ می باشد که توانایی پایش و تعدیل رفتار در حال وقوع را در موقعیت های شناختی، هیجانی و اجتماعی گوناگون فراهم می سازد. (لزاک و دویچ^۳، ۲۰۰۴). این مفهوم می تواند طیف وسیعی از کارکردهای عالی شناختی و فراشناختی همچون برنامه ریزی^۴، سیالیت^۵، کنترل توجهی^۶ سازمان دهی^۷، حافظه ی فعال^۸، بازداری پاسخ^۹، آغازگری تکلیف و انعطاف پذیری شناختی^{۱۰} را در برگیرد (اندرسون^{۱۱}، ۲۰۰۲).

از این میان، بازداری پاسخ اشاره به توانایی اداره و جهت بخشیدن به توجه، در محیطی همراه با محرک حسی با چشم پوشی از اطلاعات نامرتب و حفظ توجه بر محرک یا آیتم مربوطه، دارد (گوته، پونتی فکس، هیلمن و مک آلوی^{۱۲}، ۲۰۱۳). گلدمن-راکیک، تیری، گلووینسکی، گلدمن-راکیک و کریستن (۱۹۹۴)، بازداری را به عنوان

13 - reject

14 - dorsomedial prefrontal cortex

15 - lateral prefrontal cortex

16 - parietal cortex

17 - insular cortex

18 - left angular gyrus

19 - right middle temporal gyrus

20 - Flöel

21 - Kuo, Paulus & Nitsche

22 - Ziemann

23 - Transcranial direct current stimulation

24 - Liebetanz, Antal & et al

1- Gorelick & Bowler

2- prefrontal cortex

3- Lezak & Deutsch

4- planning

5- fluency

6 -Attentional control

7- planning

8- working memory

9 - responses

10- cognitive flexibility

11- Anderson

12- Gothe, Pontifex, Hillman, McAuley

چنین پروتکلی می‌تواند تأثیر معناداری در بهبود عملکرد بیماران در مقایسه با گروه کنترل داشته باشد.

از طرف دیگر، پژوهش‌های اخیر نشان داده‌اند، هنگامی که تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای همراه با روش‌های تمرینی استاندارد و یا پروتکل‌های توان‌بخشی به کار می‌رود؛ اثربخشی آن‌ها به میزان قابل توجهی در توانایی بازداری پاسخ افزایش می‌یابد. پژوهش‌های انجام شده در جمعیت‌های بهنجار با به‌کارگیری هم‌زمان تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای و توان‌بخشی شناختی در یک جلسه، حاکی از این بوده است که استفاده از چنین پروتکلی می‌تواند عملکرد افراد در کارکردهای شناختی همچون حافظه‌ی کاری، یادگیری را به مدت کوتاهی افزایش دهد (فوئل، ساتورپ، کول و همکاران^۵، ۲۰۱۲؛ جوادی و والش، ۲۰۱۲؛ زال، سندمن، ثورن، جنک و هرمان^۶، ۲۰۱۱؛ اون، پارک، یوو و همکاران^۷، ۲۰۰۸؛ فرگنی، بوجیو، نیچه و همکاران^۸، ۲۰۰۵).

در همین زمینه، دیتیه و همکاران (۲۰۱۲)، به بررسی اثربخشی اعمال هم‌زمان تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای و توان‌بخشی شناختی مبتنی بر تکالیف کامپیوتری بر توانایی بازداری پاسخ در افراد عادی پرداختند. نتایج پژوهش آنان پس از ۴ جلسه توان‌بخشی با استفاده از تکلیف کامپیوتری استاپ سیگنال و اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای بر روی ناحیه‌ی شکنج پیشین قدامی (IFG) راست^۹ با شدت یک و نیم میلی‌آمپر و به مدت ۱۵ دقیقه نشان داد که این پروتکل

لیپولد و ردفیرن^۱، ۱۹۶۴). مطالعات مربوط به نمونه‌های انسانی نیز نتایج فوق را مورد تأیید قرار داده است (نیچه و پائولوس، ۲۰۰۲ و ۲۰۰۱). کلید درک چگونگی کارکرد تکنولوژی‌های تحریک مغزی، فهم ساختار مدار گونه‌ی مغز است که در کارکردهای بهنجار و نابهنجار مغز نقش اساسی ایفا می‌کند. در نتیجه‌ی تحریک عصبی به‌وسیله‌ی تحریک مغزی، آبخاری از وقایع مولکولی روی می‌دهد که منجر به تغییرات عصبی درازمدتی به‌خصوص در سطح سیناپسی می‌گردد که می‌تواند تا چند ساعت، روز و یا مدت طولانی‌تری نسبت به طول تحریک وارد شده، دوام آورند (رتی و چانگ^۲، ۲۰۱۵).

جتون و هان (۲۰۱۲) طی پژوهشی، با استفاده از تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای را بر روی ناحیه‌ی قشر خلفی جانبی پیش‌پیشانی چپ را تحریک نمودند. نتایج به دست آمده حاکی از بهبود معنادار عملکرد بازداری پاسخ در تکلیف استروپ بود. به نظر می‌رسد که این ناحیه در کارکردهای مربوط به بازداری پاسخ نقش عمده‌ای ایفا نماید.

پارک و همکاران (۲۰۱۳) نیز، تأثیر اعمال هم‌زمان تمرینات کامپیوتری شناختی و اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای آنودال با شدت جریان ۲ میلی‌آمپر و به مدت ۲۰ دقیقه بر روی ناحیه‌ی قشر خلفی جانبی پیش‌پیشانی را در مقایسه با گروه کنترل با اعمال تحریک ساختگی، بر عملکرد پیوسته‌ی شنیداری^۳ و عملکرد پیوسته دیداری^۴ بیماران دچار سکت‌های مغزی مورد بررسی بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش آن‌ها ۱۷ جلسه‌ی توان‌بخشی به صورت ۵ مرتبه در هفته نشان داد که اعمال

⁵- Sutorp, Kohl & et al

⁶- Zaehle, Sandmann, Thorne, Jäncke & Herrmann

⁷- Ohn, Park, Yoo & et al

⁸- Fregni, Boggio, Nitsche & et al

⁹- right inferior frontal gyrus

¹- Bindman, Lippold & Redfearn

²- Reti & Chang

³- auditory continuous performance

⁴- visual continuous performance

اثربخشی بیشتر نسبت به گروه کنترل همراه با تحریک ساختگی داشت. مارتین، لیو، آلونزو^۱ و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی، به بررسی اثربخشی اعمال هم‌زمان تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای و تمرینات کامپیوتری شناختی بر کارکردهای اجرایی، حافظه‌ی فعال، سرعت پردازش، توجه و زمان واکنش افراد عادی پرداختند. اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای به صورت آنودال و با شدت جریان ۲ میلی آمپر به مدت ۳۰ دقیقه بر روی ناحیه‌ی قشر خلفی جانبی پیش‌پیشانی اعمال شد. برای تمرینات کامپیوتری شناختی نیز از تکلیف n-back استفاده شد. پس از اعمال این پروتکل به مدت ۱۰ جلسه، گروه آزمایش در مقایسه با گروه کنترل همراه با تحریک تصنعی، نتایج بهتری را در تکالیف حافظه‌ی فعال و توجه تمرین نشده کسب نمودند. در دوره‌ی پیگیری پس از ۴ هفته، همچنان گروه آزمایش نسبت به گروه کنترل در این تکالیف برتری داشت.

مطالعات اخیر تصویرسازی تشدید مغناطیسی کارکردی (fMRI) نشان داده است که تحریک آنودال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای موجب افزایش تحریک‌پذیری قشری-نخاعی^۲ نواحی موضعی تحریک شده و مناطق دورتر می‌گردد که می‌تواند به دلیل تعاملات بین این نواحی باشد (لانگ، زیبنر، وارد و همکاران^۳، ۲۰۰۵). بنابراین محل قرارگیری الکترود می‌تواند اثری حیاتی در توزیع فضایی و مسیر جریان الکتریکی که ایجاد نماید که این دو با یکدیگر می‌توانند در اثربخشی تحریک، نقش تعیین‌کننده‌ای را ایفا نمایند.

در اغلب پژوهش‌هایی که در آن‌ها تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای مورد استفاده قرار گرفته است، از یک الکترود آنود و یک الکترود کاتود بر روی پوست سر، بسته به کارکرد مورد نظر، استفاده شده است؛ اما از مونتاژهای دیگر همچون یک الکترود آنود و دو الکترود کاتود و با دو الکترود آنود و دو الکترود آنود نیز مورد استفاده قرار گرفته است (اوتز، دیمووا، اوپنلندر و کرکوف^۴، ۲۰۱۰).

واتقی، ذوقی و جابرزاده، (۲۰۱۵) در پژوهشی به مطالعه‌ی تأثیر تحریک هم‌زمان کورتکس حرکتی اولیه و نواحی کارکردی مرتبط در افراد بهنجار پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها حاکی از القای بیشتر پتانسیل‌های فراخوانده‌ی حرکتی (MEPs)^۵ در روش اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای آنودال به صورت دو موضعی هم‌زمان یک نیمکره‌ای، نسبت به روش مرسوم بود که حداقل به مدت ۲۴ ساعت ادامه داشت.

در همین راستا، مطالعه‌ی اخیر کوکلتا، دامبورسکا، رومان، رکتور و برازدیل (۲۰۱۶) حاکی از وجود شواهدی دال بر نقش کارکردی مستقیم ناحیه‌ی حرکتی اولیه در فعالیت‌های مختلف شناختی، علاوه بر کارکردهایی که به‌طور کلاسیک از مدت‌ها پیش به این ناحیه نسبت داده می‌شد بود. علاوه بر این، ناحیه‌ی حرکتی اولیه در سرکوب پاسخ به صورت ارادی و همچنین آمادگی حرکتی به واسطه‌ی وجود مدارهای برنامه‌ریزی حرکتی، دخیل دانسته شده است (کن و کن، ۲۰۱۳).

بنابراین به نظر می‌رسد، اعمال هم‌زمان تحریک آنودال در ناحیه‌ی مربوطه و منطقه‌ی کارکردی مرتبط به دلیل

^۱ - Martin, Liu, Alonzo

^۲ - corticospinal

^۳ -Lang, Siebner, Ward & et al

^۴ - Utz, Dimova, Oppenländer & Kerkhoff

^۵ - motor-evoked potentials

تعاملات شبکه‌ای موجود در کارکردهای پیچیده‌ی عصبی همچون بازداری پاسخ، می‌تواند نقش مهمی در توسعه تکنیک‌های ارتقای شناختی به دلیل وجود ساختارهای شبکه‌ای در مغز ایفا نماید.

با این وجود، با توجه به اینکه تاکنون تأثیر چنین مونتازی بر بهبود کارکردهای اجرایی از جمله بازداری پاسخ مورد استفاده قرار نگرفته است پژوهش حاضر با هدف طرح این سؤال که آیا اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای به صورت دو موضعی هم‌زمان یک نیمکره‌ای همراه با پروتکل تمرینات شناختی اثربخشی بیشتری در بهبود بازداری پاسخ نسبت به روش اعمال تحریکی مرسوم و گروه کنترل دارد و یا خیر.

روش

جامعه‌ی پژوهش حاضر شامل کلیه‌ی دانشجویان دانشگاه شهید مدنی آذربایجان واقع در شهر تبریز بوده که در نیمسال دوم سال تحصیلی ۹۶-۱۳۹۵ مشغول به تحصیل بودند. از جامعه‌ی ذکر شده، نمونه‌ای به تعداد ۲۱ نفر (۱۱ مرد و ۱۰ زن) به روش نمونه‌گیری در دسترس در گستره‌ی سنی ۲۰ تا ۳۰ سال انتخاب شدند.

تمامی آزمودنی‌هایی که مورد ارزیابی قرار گرفتند دارای بینایی و شنوایی طبیعی بوده و فاقد هر گونه سابقه‌ی ضربه‌ی مغزی، اختلالات روان‌پزشکی، صرع و سوءمصرف الکل و یا مواد مخدر بوده‌اند. راست برتری تمامی نمونه‌ها با استفاده از پرسشنامه‌ی برتری طرفی ادینبرگ (اولدفیلد، ۱۹۷۱) مورد تأیید قرار گرفت.

پس از انتخاب آزمودنی‌ها، به صورت تصادفی در یکی از گروه‌های پژوهشی زیر قرار گرفتند: الف- گروه اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای با تحریک آنودال به شیوه‌ی مرسوم همراه با تمرینات شناختی ب-

گروه اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای آنودال به صورت دو موضعی هم‌زمان یک نیمکره‌ای همراه با تمرینات شناختی ج- گروه اعمال تحریک تصنعی همراه با تمرینات شناختی

روش انجام تحقیق حاضر از نوع نیمه آزمایشی بود که همراه با طرح پیش‌آزمون و پس‌آزمون با گروه کنترل صورت پذیرفت. پس از اخذ مجوز کمیته‌ی اخلاق، جهت انجام پژوهش حاضر، ابتدا شرکت‌کنندگان در پژوهش مورد مصاحبه قرار گرفتند و نسبت به شرایط و طول مداخله و همچنین بی‌خطر بودن آن اطلاعات کافی ارائه شد. تمامی آزمودنی‌ها فرم رضایت‌نامه‌ی شخصی جهت حضور در پژوهش را تکمیل نمودند و نسبت به رازداری و عدم افشای اطلاعات به آنان اطمینان خاطر کامل داده شد

آزمودنی‌ها به صورت تصادفی در دو گروه آزمایشی شامل گروه نخست به صورت اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای آنودال دو موضعی هم‌زمان یک نیمکره‌ای بر روی نواحی قشر حرکتی اولیه (C3) و قشر خلفی جانبی پیش‌پیشانی (F3) و گروه دوم به صورت اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای بر روی ناحیه‌ی قشر خلفی جانبی پیش‌پیشانی چپ و همچنین گروه کنترل همراه با اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای به صورت تصنعی تخصیص داده شدند. به منظور یافتن نقاط مورد نظر بر روی سر از سیستم بین‌المللی ۱۰-۲۰ استفاده شد. تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای با شدت جریان ۰/۳ میلی‌آمپر و به صورت مستقیم به مدت ۳۰ دقیقه در طی چهار جلسه اعمال گردید. الکتروکاتد در ناحیه‌ی سوپرااریتال نیمکره‌ی مقابل (راست) (Fp2) کارگذاری شد. گروه کنترل نیز

تحریک را به مدت ۳۰ ثانیه بر روی ناحیه ی قشر خلفی جانبی پیش‌پیشانی چپ دریافت نمودند و سپس دستگاه به صورت خودکار قطع شد. کلیه ی آزمودنی‌ها، پس از اعمال تحریک در هر جلسه، تکلیف استاپ سیگنال را اجرا نمودند. جلسه ی پنجم به منظور پیگیری اثربخشی مداخلات انجام شده، ۲۴ ساعت پس از پایان اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای، آزمودنی‌ها به طور مجدد مورد ارزیابی قرار گرفتند. جهت تحلیل داده های به دست آمده از نرم افزار SPSS نسخه ی ۱۷ استفاده شد.

ابزار

تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای (TDCS): در پژوهش حاضر، تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای با استفاده از دستگاه NEUROSTIM-2 ساخت شرکت مدینا طب گستر و از طریق دو پد $1/5 \times 2$ سانتی‌متر (الکتروود آند) و 2×6 سانتی‌متر (الکتروود کاتد) آغشته به محلول نمک به شدت جریان $0/3$ میلی‌آمپر و به صورت مستقیم به مدت ۳۰ دقیقه اعمال گردید (واثقی، دوقی و جابر زاده، ۲۰۱۵).

تکلیف استاپ ایت! جهت ارزیابی توانایی بازداری آزمودنی‌ها از تکلیف استاپ ایت (ورنبروگن، لوگان و استیونز^۲، ۲۰۰۸) استفاده شد. در این تکلیف از دو نماد دایره و مربع در هر مرتبه‌ی آزمون استفاده شده است. سائز محرک‌های دیداری برابر با $1/5$ سانتی‌متر مربع است که به مدت $1/250$ میلی‌ثانیه بر روی صفحه باقی می‌ماند. آزمودنی‌ها می‌بایست در سریع‌ترین زمان ممکن به وسیله ی کلیک چپ و راست ماوس کامپیوتر به

محرک‌ها پاسخ دهند. بدین صورت که به محرک دایره با راست کلیک و به محرک مربع با چپ کلیک پاسخ دهند. در ۲۵ درصد آزمون‌ها، محرکی صوتی (۷۵۰ هرتز - ۷۵ میلی‌ثانیه) اندکی پس از محرک دیداری ارائه می‌گردد که هنگام شنیدن آن آزمودنی می‌بایست بلافاصله از پاسخ دادن خودداری نماید (استاپ سیگنال). زمان بین ارائه محرک و استاپ سیگنال در هر آزمون تنظیم شده است (تأخیر استاپ سیگنال (SSD)^۳). تکلیف با SSD ۲۵۰ میلی‌ثانیه آغاز می‌شود و به دنبال آن پس از پاسخ درست، SSD ۵۰ میلی‌ثانیه افزایش می‌یابد. پس از پاسخ نادرست SSD ۵۰ میلی‌ثانیه کاهش می‌یابد. تکلیف شامل ۲ مرحله است که مرحله ی نخست از ۳۲ آزمون تمرینی و مرحله ی دوم از ۱۹۲ آزمون شامل ۳ بلوک ۶۴ تایی با فاصله ی ۱۰ ثانیه استراحت میان بلوک‌ها تشکیل یافته است (ورنبروگن، لوگان و استیونز^۴، ۲۰۰۸). مراحل تمرینی برای این انجام می‌گردد تا آزمونگر نسبت به فهم آزمودنی‌ها از شرایط تکلیف اطمینان حاصل نماید. نقطه‌ی تمرکز (+) و محرک دیداری در وسط صفحه‌ی نمایشگر با رنگ سفید در زمینه ی سیاه ارائه می‌گردد.

پرسشنامه برتری جانبی ادینبرگ^۵: پرسشنامه برتری طرفی طرفی ادینبرگ برای نخستین بار توسط اولدفیلد (۱۹۷۱) طراحی گردید. دارای ۴ بخش است که برتری دستی، برتری پا، برتری گوش و برتری چشم را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. بخش برتری دستی این مقیاس ۱۰ ماده دارد که ترجیح دستی را در نوشتن، نقاشی کردن، پرتاب کردن، قیچی کردن، مسواک زدن، استفاده از چاقو، استفاده از قاشق، جارو کردن، روشن کردن کبریت،

³ - Stop Signal Delay(SSD)

⁴ - Verbruggen, Logan & Stevens

⁵ - Edinburgh Handedness Inventory

¹ - STOP-IT

² - Verbruggen, Logan & Stevens

اثر اصلی مربوط به تکالیف استاپ سیگنال و همچنین اثر تعاملی این تکالیف معنی دار است.

همان گونه که در جدول ۳ مشاهده می شود، خلاصه ی تحلیل واریانس بیانگر آن است که اثر اصلی نمرات اکتسابی آزمودنی ها در تکالیف استاپ سیگنال معنادار است.

$F(۷۲ و ۴) = ۰/۸۱۳$ و $P < ۰/۰۰۱$ و $(\text{Partial } \eta^2 = ۷۸/۰۶)$

مقدار لامبدای ویلکز برابر با مقدار احتمال ۰/۰۱ است؛ بنابراین، با توجه به مجذورات به دست آمده، نمرات آزمودنی ها در تکالیف استاپ سیگنال در دو گروه آزمایشی و گروه کنترل تفاوت معناداری با یکدیگر دارند.

$F(۷۲ و ۴) = ۰/۸۲۰$ و $P < ۰/۰۰۱$ و $(\text{Partial } \eta^2 = ۴۱/۰۹)$

به منظور مقایسه میانگین گروه های پژوهشی از آزمون t مستقل استفاده شد. در جلسه ی نخست بین میانگین های دو گروه اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه ای آنودال به صورت دو موضعی هم زمان یک نیمکره ای و گروه اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه ای آنودال به شیوه ی مرسوم ($P < ۰/۰۵$ و $df = ۱۲$ و $t = ۴۹$) و دو گروه اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه ای آنودال به صورت دو موضعی هم زمان یک نیمکره ای و گروه کنترل همراه با تحریک تصنعی تفاوت معناداری مشاهده شد. ($P < ۰/۰۵$ و $df = ۱۲$ و $t = ۲/۵۶$).

در جلسه ی دوم، بین میانگین های دو گروه اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه ای آنودال به صورت دو موضعی هم زمان یک نیمکره ای و گروه اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه ای آنودال به شیوه ی مرسوم ($p < ۰/۰۱$ و $df = ۱۲$ و $t = ۳/۵۴$) و دو

باز و بسته کردن درب قوطی مورد سنجش قرار می دهد. نتایج آزمون در دامنه ای از ۱۰۰+ تا ۱۰۰- قرار خواهد گرفت. بدین صورت که افراد چپ دست نمراتی را در طیف ۴۰- تا ۱۰۰-، آزمودنی های راست دست نمراتی در گستره ی ۱۰۰+ تا ۴۰+ و افراد دو سو برتر نمراتی در طیف ۴۰+ تا ۴۰- کسب خواهند نمود (اولدفیلد^۱، ۱۹۷۱). سه بخش دیگر این پرسشنامه هر کدام دارای ۴ سؤال می باشند.

یافته ها

اطلاعات دموگرافیک آزمودنی ها شامل میانگین و انحراف معیار شاخص های سن و جنسیت آزمودنی ها به تفکیک در جدول ۱ گزارش شده است.

میانگین و انحراف معیار نمرات به دست آمده توسط دو گروه آزمایشی و گروه کنترل در تکالیف استاپ سیگنال در جدول ۲ قابل مشاهده است.

جهت ارزیابی اثربخشی پروتکل های مختلف استفاده شده در پژوهش حاضر، از آزمون تجزیه و تحلیل واریانس با اندازه گیری های مکرر استفاده شد. پیش از آزمون تحلیل واریانس، جهت رعایت پیش فرض آزمون های کرویت موجلی و لون انجام شد. نتایج آزمون لون حاکی از رعایت مفروضه ی یکسانی واریانس ها بود ($P = ۰/۰۵$). آزمون موجلی نیز نشان داد که این مفروضه برای تمامی متغیرها رعایت شده است ($P = ۰/۰۵$).

در جدول ۳ نتایج تحلیل واریانس درون گروهی با اندازه گیری های مکرر به جهت بررسی معنی داری تفاوت میانگین های گروه ها قابل مشاهده است. با توجه به آمارهای توصیفی فوق، نتایج جدول ۳ نشان می دهد که

^۱ - Oldfield

گروه اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه ای آنودال به صورت دو موضعی هم زمان یک نیمکره ای و گروه کنترل همراه با تحریک تصنعی تفاوت معناداری مشاهده شد ($t=4/04$ و $df=12$ و $p < 0/01$).

در جلسه ی سوم، بین میانگین های دو گروه اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه ای آنودال به صورت دو موضعی هم زمان یک نیمکره ای و گروه اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه ای آنودال به شیوه ی مرسوم ($t=6/13$ و $df=12$ و $p < 0/001$) و دو گروه اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه ای آنودال به صورت دو موضعی هم زمان یک نیمکره ای و گروه کنترل همراه با تحریک تصنعی تفاوت معناداری مشاهده شد ($t=6/51$ و $df=12$ و $p < 0/001$).

همچنین در جلسه ی چهارم، بین میانگین های دو گروه اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه ای آنودال به صورت دو موضعی هم زمان یک نیمکره ای و گروه اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه ای آنودال به شیوه ی مرسوم ($t=6/18$ و $df=12$ و $p < 0/001$)، دو گروه اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه ای

آنودال به شیوه ی مرسوم و گروه کنترل همراه با تحریک تصنعی ($t=2/35$ و $df=12$ و $p < 0/05$) و دو گروه اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه ای آنودال به صورت دو موضعی هم زمان یک نیمکره ای و گروه کنترل همراه با تحریک تصنعی تفاوت معناداری مشاهده شد ($t=10/06$ و $df=12$ و $p < 0/001$).

در جلسه ی پنجم (مرحله ی پیگیری)، بین میانگین های دو گروه اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه ای آنودال به صورت دو موضعی هم زمان یک نیمکره ای و گروه اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه ای آنودال به شیوه ی مرسوم ($t=8/20$)، دو گروه اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه ای آنودال به شیوه ی مرسوم و گروه کنترل همراه با تحریک تصنعی ($t=2/19$ و $df=12$ و $p < 0/001$) و دو گروه اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه ای آنودال به صورت دو موضعی هم زمان یک نیمکره ای و گروه کنترل همراه با تحریک تصنعی تفاوت معناداری مشاهده شد ($t=1/28$ و $df=12$ و $p < 0/01$).

جدول شماره ی ۱ اطلاعات دموگرافیک آزمودنی ها به تفکیک گروه ها

گروه ۲:		گروه ۱:	
گروه ۳:	گروه اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه ای آنودال به صورت دو موضعی بر روی قشر هم زمان یک نیمکره ای خلفی جانبی پیش پیشانی و قشر حرکتی اولیه	گروه اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه ای آنودال به شیوه ی مرسوم بر روی قشر خلفی جانبی پیش پیشانی	متغیرها
۲۳/۸۶	۲۳/۱۴	۲۲/۴۳	سن
(۳/۲۹)	(۳/۱۳)	(۱/۹۰)	(سال)
۴/۳	۳/۴	۳/۴	زن / مرد (n)

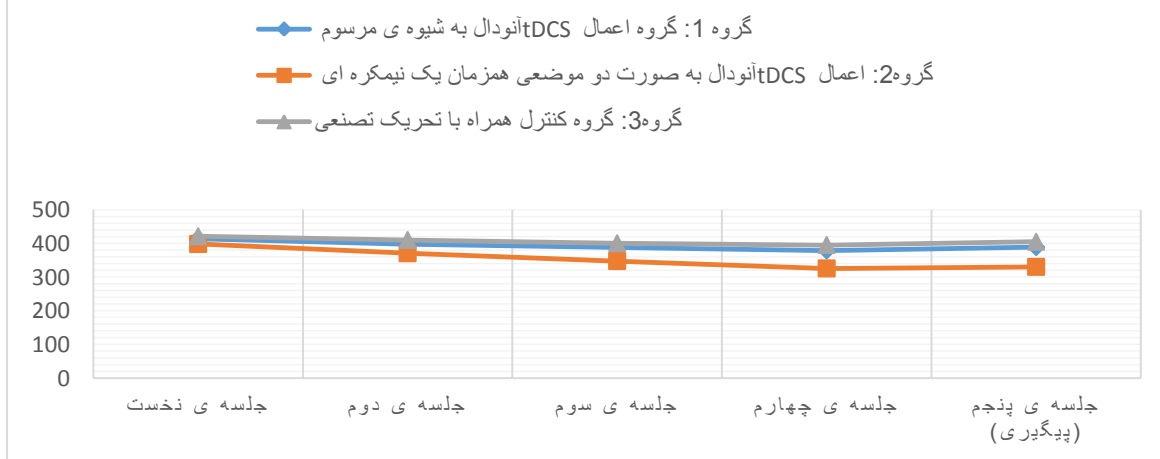
جدول ۲ میانگین و انحراف معیار نمرات در ۵ جلسه‌ی مداخله

جلسه پنجم (پیگیری) (n=21)			جلسه چهارم (n=21)			جلسه سوم (n=21)			جلسه دوم (n=21)			جلسه نخست (n=21)			متغیرها	
گروه ۳ (n=۷)	گروه ۲ (n=۷)	گروه ۱ (n=۷)	گروه ۳ (n=۷)	گروه ۲ (n=۷)	گروه ۱ (n=۷)	گروه ۳ (n=۷)	گروه ۲ (n=۷)	گروه ۱ (n=۷)	گروه ۳ (n=۷)	گروه ۲ (n=۷)	گروه ۱ (n=۷)	گروه ۳ (n=۷)	گروه ۲ (n=۷)	گروه ۱ (n=۷)	تکلیف استاپ سیگنال (SSRT)	تکلیف استاپ سیگنال
۴۰۵/۳۶ (۵/۱۴)	۳۳۰/۵۷ (۱۴/۳۲)	۳۸۹/۳۱ (۱۲/۴۰)	۳۹۵/۵۸ (۸/۵۱)	۳۲۵/۹۷ (۱۶/۲۱)	۳۷۹/۳۷ (۱۶/۱۲)	۴۰۰/۸۸ (۱۴/۳۱)	۳۴۷/۸۴ (۱۵/۹۳)	۳۸۸/۱۸ (۷/۰۱)	۴۱۰/۶۷ (۱۸/۱۳)	۳۷۱/۱۰ (۱۸/۵۲)	۳۹۸/۴۷ (۸/۶۷)	۴۲۱/۸۶ (۱۹/۲۲)	۳۹۸/۶۷ (۱۴/۲۹)	۴۱۴/۰۱ (۷/۷۹)		

جدول ۳ نتایج آزمون تحلیل واریانس آمیخته برای تکلیف استاپ سیگنال

اندازه اثر	sig	F	میانگین مجدورات	درجه آزادی	مجموع مجدورات	عامل
۰/۸۱۳	۰/۰۰۱	۷۸/۰۶	۶۴۷۴/۳۷	۴	۲۵۸۹۷/۴۸	تکلیف استاپ سیگنال
۰/۵۵۲	۰/۰۰۱	۱۱/۱۰	۹۲۰/۴۴	۸	۷۳۶۳/۴۹	تکلیف استاپ سیگنال * گروه
			۸۲/۹۴	۷۲	۵۹۷۱/۸۱	خطا
۰/۸۲۰	۰/۰۰۱	۴۱/۰۹	۲۵۶۷۴/۸۰	۲	۵۱۳۴۷/۶۰	گروه بین گروهی
			۶۲۴/۷۷۶	۱۸	۱۱۲۴۵/۹۷	خطا
۰/۵۱۶	۰/۰۱	۴/۰۱				لامبدای ویلکز (value=۰/۲۳۴)

نمودار ۱: عملکرد آزمودنی‌ها در تکلیف استاپ سیگنال در ۵ جلسه‌ی مداخله



نمودار ۱ میانگین‌های نمرات کسب‌شده در تکلیف استاپ سیگنال را در دو گروه آزمایشی و یک گروه کنترل در ۴ مرحله اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای و مرحله‌ی پیگیری در جلسه‌ی پنجم را به صورت یک نمودار خطی نمایش می‌دهد. این نمودار نشان می‌دهد که تعداد خطاها در تکلیف استاپ سیگنال در گروه‌های آزمایشی همراه با اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای یک روند کاهشی جلسات مداخله و همچنین در جلسه‌ی پیگیری داشته است که این افزایش در عملکرد در گروه اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای آنودال به صورت دو موضعی هم‌زمان یک نیمکره‌ای به صورت برجسته‌تری بوده است.

بحث

پژوهش حاضر با هدف مقایسه‌ی پروتکل‌های اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای به صورت دو موضعی هم‌زمان تک نیمکره‌ای بر روی نواحی قشر حرکتی اولیه و قشر خلفی جانبی پیش‌پیشانی و روش مرسوم (تحریک قشر خلفی جانبی پیش‌پیشانی) به همراه تمرینات شناختی انجام گرفت.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که دو گروه‌های آزمایشی همراه با اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای به صورت دو موضعی هم‌زمان تک نیمکره‌ای بر روی نواحی قشر حرکتی اولیه و قشر خلفی جانبی پیش‌پیشانی و گروه اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای به صورت مرسوم نسبت به گروه کنترل عملکرد بهتری را در تکلیف استاپ سیگنال از خود نشان دادند. از طرف دیگر، گروه همراه با اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای به صورت دو موضعی هم‌زمان تک نیمکره‌ای نسبت به روش مرسوم عملکرد بهتری از خود

نشان دادند که این بهبود در عملکرد در جلسه‌ی پنجم (مرحله‌ی پیگیری) همچنان قابل توجه و معنادار بود.

در درجه‌ی نخست پژوهش حاضر نشان داد، اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای به همراه انجام تمرینات شناختی، اثربخشی بیشتری نسبت به تمرینات شناختی به تنهایی دارد. این نتایج با یافته‌های جئون و هان، ۲۰۱۲؛ پارک و همکاران، ۲۰۱۳؛ دیتیه، جاکوبسون، والش و لایودور، ۲۰۱۲؛ فردیکسون، ریچاردسون، بیکر و روردن، ۲۰۰۱؛ لئو، د-لوکا، روسو و همکاران، ۲۰۱۵؛ لیندنبرگ، رنگا، ژو، نیر و اشلاوگ، ۲۰۱۰؛ فوئل، ساتورپ، کول و همکاران، ۲۰۱۲؛ جوادی و والش، ۲۰۱۲؛ زال، سندمن، ثورن، جنک و هرمان، ۲۰۱۱؛ اون، پارک، یوو و همکاران، ۲۰۰۸ و فرگنی، بوجیو، نیچه و همکاران، ۲۰۰۵ همسو بود. به نظر می‌رسد، تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای می‌تواند با افزایش میزان تحریک‌پذیری کورتکسی در شبکه‌های مربوط به کارکردهای اجرایی در مغز، زمینه‌ی لازم برای پروتکل‌های مختلف توان‌بخشی و ارتقا شناختی را فراهم می‌سازد.

از طرف دیگر پژوهش حاضر نشان داد، تحریک آنودال هم‌زمان نواحی درگیر در یک نیمکره، می‌تواند منجر به افزایش اثربخشی پروتکل‌های توان‌بخشی شناختی، نسبت به اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای بر روی ناحیه‌ی قشر خلفی جانبی پیش‌پیشانی، در عملکرد افراد در کارکردهای اجرایی می‌گردد. این یافته‌ها، با نتایج به دست آمده توسط واتقی و همکاران (۲۰۱۵) که نشان داد، تحریک هم‌زمان ناحیه‌ی کارکردی مرتبط در علاوه بر ناحیه‌ی مورد نظر، موجب افزایش القای پتانسیل

از طرف دیگر یافته‌های حاصل از مرحله‌ی پیگیری نیز حاکی از پایداری بهبود مشاهده شده در گروه همراه با مداخله‌ی ۲ موضعی هم‌زمان تک نیمکره‌ای، نسبت به گروه اعمال به شیوه‌ی مرسوم و گروه کنترل، ۲۴ ساعت پس از اتمام مداخله بود. این یافته با نتایج پژوهش واثقی و همکاران (۲۰۱۵) که حاکی از القای بیشتر پتانسیل‌های فراخوانده‌ی حرکتی (MEPs)^۲ در روش اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای آنودال به صورت دو موضعی هم‌زمان یک نیمکره‌ای، نسبت به روش مرسوم که حداقل به مدت ۲۴ ساعت ادامه داشت، همسو بود.

نتیجه‌گیری

به نظر می‌رسد، استفاده از پروتکل تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای هم‌زمان ۲ موضعی تک نیمکره‌ای می‌تواند اثربخشی تمرینات شناختی را افزایش داده و بهبود عملکرد در تکالیف مربوط به بازداری پاسخ گردد بنابراین با توجه به اثربخشی پروتکل معرفی شده، پیشنهاد می‌گردد در جمعیت‌های بالینی همچون بیماران دچار بیش‌فعالی و اختلالات خوردن، بیماران دچار سکته‌ی مغزی و پارکینسون مورد کار آزمایشی بالینی قرار گیرد. از محدودیت‌های پژوهش حاضر می‌توان به تعداد کم آزمودنی‌ها در گروه‌های مورد مداخله اشاره نمود. پیشنهاد می‌گردد در پژوهش‌های آتی در ابعاد گسترده‌تر انجام گیرد و کارایی این پروتکل بر بهبود سایر عملکردهای شناختی مورد بررسی قرار گیرد.

سپاسگزاری

های فراخوانده‌ی حرکتی (MEPs)^۱ در افراد بهنجار می‌گردد، همسو بود.

به نظر می‌رسد که ناحیه‌ی حرکتی اولیه در کارکردهای اجرایی از جمله بازداری پاسخ افراد نقش مهمی ایفا می‌نماید. شاید بتوان دلیل چنین امری را در تعاملات کارکردی و عصبی میان این نواحی و ناحیه‌ی قشر خلفی جانبی پیش‌پیشانی دانست که در پژوهش اخیر کوکلتا و همکاران (۲۰۱۶)، مورد توجه قرار گرفت.

مطالعه‌ی دام و استریک و هی و همکاران (به نقل از واثقی و همکاران، ۲۰۱۵) نشان داد، کورتکس ناحیه‌ی پیش حرکتی به دو قسمت پشتی و شکمی تقسیم می‌شود که ناحیه‌ی پشتی آن خروجی‌اش را به ناحیه‌ی قشر حرکتی اولیه و طناب نخاعی می‌فرستد و ورودی‌هایی از ناحیه‌ی قشر خلفی جانبی پیش‌پیشانی دریافت می‌کند. مدولاسیون مربوط به توجه در ناحیه‌ی قشر خلفی جانبی پیش‌پیشانی و داده‌های مربوط به آمادگی حرکتی در ناحیه‌ی پشتی کورتکس پیش حرکتی توسط ناحیه‌ی قشر حرکتی اولیه دریافت می‌گردد. در نتیجه‌ی چنین ساختار کارکردی، به نظر می‌رسد که تحریک آنودال هم‌زمان ناحیه‌ی قشر خلفی جانبی پیش‌پیشانی و قشر حرکتی اولیه می‌تواند، منجر به فعال‌سازی مسیر عصبی قشر خلفی جانبی پیش‌پیشانی_ قشر پیش حرکتی_ ناحیه حرکتی اولیه گردد و تحریک پذیری این نواحی را افزایش دهد (واثقی و همکاران، ۲۰۱۵) به نظر می‌رسد با توجه به وجود چنین مسیریابی بین این دو ناحیه، تحریک دو ناحیه به طور هم‌زمان سبب فعال‌سازی بیشتر و در نتیجه بهبود در کارکردهای مربوط به بازداری پاسخ گردد.

²- motor-evoked potentials

¹- motor-evoked potentials

aphasia a double-blind, sham-controlled study. *Stroke*, 42(3), 819-821.

Goldman-Rakic, PS. (1995). Architecture of the prefrontal cortex and the central executive. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 769(1), 71-84.

Gorelick, PB, & Bowler JV. (2008). Advances in vascular cognitive impairment 2007. *Stroke*, 39(2), 279-282.

Gothe, N, Pontifex MB, Hillman C, & McAuley E. (2013). The acute effects of yoga on executive function. *Journal of physical activity and health*, 10(4), 488-495.

Javadi, AH, & Walsh V. (2012). Transcranial direct current stimulation (tDCS) of the left dorsolateral prefrontal cortex modulates declarative memory. *Brain stimulation*, 5(3), 231-241.

Jeon, SY, & Han SJ. (2012). Improvement of the working memory and naming by transcranial direct current stimulation. *Annals of rehabilitation medicine*, 36(5), 585-595.

Kukleta, M, Damborská A, Roman R, Rektor IZ, & Brázdil M. (2016). The primary motor cortex is involved in the control of a non-motor cognitive action. *Clinical Neurophysiology*, 127(2), 1547-1550.

Kuo, MF, Paulus W, & Nitsche MA. (2014). Therapeutic effects of non-invasive brain stimulation with direct currents (tDCS) in neuropsychiatric diseases. *Neuroimage*, 85(6), 948-960.

Kwon, YH, & Kwon JW. (2013). Response inhibition induced in the stop-signal task by transcranial direct current stimulation of the pre-supplementary motor area and primary sensorimotor cortex. *Journal of physical therapy science*, 25(9), 1083-1086.

Lang, N, Siebner HR, Ward NS, Lee L, Nitsche MA, Paulus W, Frackowiak RS. (2005). How does transcranial DC stimulation of the primary motor cortex alter regional neuronal activity in the human brain? *European Journal of Neuroscience*, 22(2), 495-504.

Leo, A, De Luca R, Russo M, Naro A, Bramanti P, & Calabrò RS. (2015). Role of tDCS in

از شرکت مدینا طب گستر که دستگاه نورواستیم ۲ را در اختیار ما قرار دادند و در پژوهش حاضر ما را یاری رساندند، کمال تشکر و قدردانی را داریم.

References

Anderson, P. (2002). Assessment and development of executive function (EF) during childhood. *Child neuropsychology*, 8(2), 71-82.

Bindman, LJ, Lippold O, & Redfeam J. (1964). The action of brief polarizing currents on the cerebral cortex of the rat (1) during current flow and (2) in the production of long-lasting after-effects. *The Journal of physiology*, 172(3), 369.

Bracy, OL. (1983). Computer based cognitive rehabilitation. *Cognitive Rehabilitation*, 1(1), 7-8, 18.

Ditye, T, Jacobson L, Walsh V, & Lavidor M. (2012). Modulating behavioral inhibition by tDCS combined with cognitive training. *Experimental brain research*, 219(3), 363-368.

Flöel, A, Suttrop W, Kohl O, Kürten J, Lohmann H, Breitenstein C, & Knecht S. (2012). Non-invasive brain stimulation improves object-location learning in the elderly. *Neurobiology of aging*, 33(8), 1682-1689.

Fregni, F, Boggio PS, Nitsche M, Berman F, Antal A, Feredoes E, Paulus W. (2005). Anodal transcranial direct current stimulation of prefrontal cortex enhances working memory. *Experimental brain research*, 166(1), 23-30.

Fridriksson, J, Richardson JD, Baker JM, & Rorden C. (2011). Transcranial direct current stimulation improves naming reaction time in fluent potentiating poststroke computerized cognitive rehabilitation: Lessons learned from a case study. *Applied Neuropsychology: Adult*, 1-5.

Lezak, MD. (2004). *Neuropsychological assessment*: Oxford University Press, USA.

Lindenberg, R, Renga V, Zhu L, Nair D, & Schlaug G. (2010). Bihemispheric brain stimulation

- facilitates motor recovery in chronic stroke patients. *Neurology*, 75(24), 2176-2184.
- Martin, DM, Liu R, Alonzo A, Green M, Player MJ, Sachdev P, & Loo CK. (2013). Can transcranial direct current stimulation enhance outcomes from cognitive training? A randomized controlled trial in healthy participants. *International Journal of Neuropsychopharmacology*, 16(9), 1927-1936.
- Naglieri JA, Goldstein S. (2014). *Handbook of executive functioning*. New York: Springer Science & Business Media Press, 29-44
- Nitsche, M A, Liebetanz D, Antal A, Lang N, Tergau F, & Paulus W. (2003). Modulation of cortical excitability by weak direct current stimulation—technical, safety and functional aspects. *Suppl Clin Neurophysiol*, 56(3), 255-276.
- Nitsche, M, & Paulus W. (2000). Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation. *The Journal of physiology*, 527(3), 633-639.
- Nitsche, MA, & Fregni F. (2007). Transcranial Direct Current Stimulation—An Adjuvant Tool for the Treatment of Neuropsychiatric Diseases? *Current Psychiatry Reviews*, 3(3), 222-232.
- Nitsche, MA, & Paulus W. (2001). Sustained excitability elevations induced by transcranial DC motor cortex stimulation in humans. *Neurology*, 57(10), 1899-1901.
- Ohn, SH, Park CI, Yoo WK, Ko MH, Choi KP, Kim GM, Kim YH. (2008). Time-dependent effect of transcranial direct current stimulation on the enhancement of working memory. *Neuroreport*, 19(1), 43-47.
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97-113.
- Park, S.-H., Koh, E.-J., Choi, H.-Y., & Ko, M.-H. (2013). A double-blind, sham-controlled, pilot study to assess the effects of the concomitant use of transcranial direct current stimulation with the computer assisted cognitive rehabilitation to the prefrontal cortex on cognitive functions in patients with stroke. *Journal of Korean Neurosurgical Society*, 54(6), 484-488.
- Reti, I M., & Chang, A. D. (2015). Introduction to brain stimulation. *Brain Stimulation, Methodologies and Interventions*, 3(5), 1-12.
- 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 non-invasive brain stimulation in neuropsychology—a review of current data and future implications. *Neuropsychologia*, 48(10), 2789-2810.
- Vaseghi, B., Zoghi, M., & Jaberzadeh, S. (2015). The effects of anodal-tDCS on corticospinal excitability enhancement and its after-effects: conventional vs. unihemispheric concurrent dual-site stimulation. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9, 533.
- Verbruggen, F., Logan, G. D., & Stevens, M. A. (2008). STOP-IT: Windows executable software for the stop-signal paradigm. *Behavior research methods*, 40(2), 479-483.
- Zaehle, T., Sandmann, P., Thome, J. D., Jäncke, L., & Hermann, C. S. (2011). Transcranial direct current stimulation of the prefrontal cortex modulates working memory performance: combined behavioural and electrophysiological evidence. *BMC neuroscience*, 12(1), 1.
- Ziemann, U., Paulus, W., Nitsche, M. A., Pascual-Leone, A., Byblow, W. D., Berardelli, A., Rothwell, J. C. (2008). Consensus: motor cortex plasticity protocols. *Brain stimulation*, 1(3), 164-182.
- Zoltan, B. (2007). *Vision, Perception, and Cognition: A Manual for the Evaluation and Treatment of the Adult with Acquired Brain Injury*: Eurospan Group.