

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 ($P<0.05$).

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>

مقایسه‌ی اثربخشی پروتکل‌های مختلف تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای (TDCS) به همراه تمرينات شناختی در ارتقای بازداری پاسخ افراد عادی

میلاد 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 (مولف مسئول). ایمیل: milad.amini.ma@gmail.com

۲. کارشناسی ارشد علوم شناختی، 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: ۱۳۹۷/۱۱/۰۳

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۳/۲۰

چکیده

مقدمه: پژوهش‌ها نشان دادند اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای آنودال سبب افزایش اثربخشی توانبخشی شناختی می‌گردد. از طرف دیگر نتایج پژوهش‌های اخیر نشان داد اعمال تحریک به صورت دو موضعی همزمان یک نیمکره‌ای می‌تواند تحریک پذیری قشری-نخاعی را افزایش دهد.

هدف: پژوهش حاضر به مقایسه‌ی اثربخشی تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای دو موضعی همزمان یک نیمکره‌ای و تحریک به روش مرسوم همراه تمرينات شناختی بر بهبود بازداری پاسخ افراد عادی پرداخته.

روش: ۲۱ آزمودنی به صورت تصادفی در دو گروه آزمایشی و کنترل شامل گروه اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای نواحی قشر حرکتی اولیه و قشر خلفی جانی پیش‌پیشانی و گروه تحریک ناحیه‌ی قشر خلفی جانی پیش‌پیشانی چپ و گروه کنترل تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای تصنیعی قرار گرفتند. تحریک مستقیم 0.3 میلی آمپری، به مدت 30 دقیقه در 4 جلسه اعمال و پس از اعمال تحریک، تکلیف استاپ سیگنال اجرا شد. جلسه‌ی پنجم 24 ساعت پس از تحریک، ارزیابی مجدد انجام شد.

یافته‌ها: تحلیل واریانس با اندازه گیری‌های مکرر نشان داد، اعمال تحریک جریان مستقیم الکتریکی فرا جمجمه‌ای آنودال دو موضعی همزمان یک نیمکره‌ای به همراه اجرای تمرينات شناختی، تفاوت معناداری در مقایسه‌ی با روش تحریکی مرسوم و گروه کنترل در اجرای تکلیف بازداری پاسخ دارد ($P=0.05$).

نتیجه‌گیری: تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای آنودال دو موضعی همزمان یک نیمکره‌ای از طریق افزایش تحریک پذیری قشری، اثربخشی تمرينات شناختی را افزایش داد.

کلیدواژه‌ها: تحریک جریان مستقیم الکتریکی فرا جمجمه‌ای، تمرينات شناختی، بازداری پاسخ

مقدمه

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

مطالعات پیرامون بازداری پاسخ در بین پژوهشگران به طور روزافروندی افزایش داشته است و پژوهش‌های بسیاری در دهه‌ی گذشته نشان داده‌اند 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 پرکانثوس دو طرفه و شیار آنگولار چپ^{۱۸} و شیار گیجگاهی میانی راست^{۱۹}، مرتبط بوده است (گلدشتاین و ناگلیری، ۲۰۱۳).

در سال‌های اخیر، تکنیک‌های غیرتهاجمی تحریک مغزی مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است که می‌توانند منجر به تعديل در تحریک‌پذیری و فعالیت کورتکسی و در نتیجه، ایجاد تغییرات در کارکردهای شناختی و رفتاری گردند (فوئل^{۲۰}، ۲۰۱۴؛ کوو، پائولوس و نیچه^{۲۱}، ۲۰۱۴؛ زیمان^{۲۲}، پائولوس، نیچه و همکاران، ۲۰۰۷).

tDCS تحریک جریان مستقیم الکتریکی فرا جمجمه‌ای (tDCS)^{۲۳} از جمله‌ی چنین تکنیک‌هایی است. از حدود ۵۰ سال پیش نشان داده شده است که به کارگیری جریان‌های مستقیم زیر آستانه‌ای و نسبتاً ضعیف بر روی کورتکس حیوانات می‌تواند منجر به ایجاد تغییراتی قطبی در فعالیت کورتکسی و همچنین تحریک پذیری آن گردد که می‌تواند چندین ساعت پس از مداخله به طول بیانجامد (نیچه، لیبتانز، آنتال و همکاران^{۲۴}، ۲۰۰۳؛ بیندمان،

کارکردهای شناختی مجموعه توanایی‌هایی را در بر می‌گیرد که ارتباط مستقیمی با فهم و ادراک واقعی زندگی روزمره و قابلیت تصمیم‌گیری و انطباق‌پذیری مناسب در شرایط گوناگون محیطی دارد (گورلیک و بولر^۱، ۲۰۰۸). از جمله انواع مختلف کارکردهای شناختی می‌توان کارکردهای اجرایی را ذکر نمود که اشاره به مجموعه عملکردهایی دارد که مرتبط با فعالیت قشر پیش پیشانی^۲ می‌باشد که توanایی پایش و تعديل رفتار در حال وقوع را در موقعیت‌های شناختی، هیجانی و اجتماعی گوناگون فراهم می‌سازد. (لزاک و دویچ^۳، ۲۰۰۴). این مفهوم می‌تواند طیف وسیعی از کارکردهای عالی شناختی و فراشناختی همچون برنامه ریزی^۴، سیالیت^۵، کنترل توجهی^۶ سازماندهی^۷، حافظه‌ی فعل^۸، بازداری پاسخ^۹، آغازگری تکلیف و انعطاف‌پذیری شناختی^{۱۰} را در برگیرد (اندرسون^{۱۱}، ۲۰۰۲).

از این میان، بازداری پاسخ اشاره به توanایی 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 مک‌آلولی^{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 افراش می‌یابد. پژوهش‌های انجام شده در جمعیت‌های بهنجار با به کارگیری 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، بوچیو، 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 ناحیه 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 تائید قرار داده است (نیچه و پائولوس، ۲۰۰۲ و ۲۰۰۱). کلید در ک چگونگی کار کرد تکنولوژی‌های تحریک مغزی، فهم ساختار مدارگونه‌ی مغز است که در کارکردهای بهنجار و نابهنجار مغز نقش اساسی ایفا می‌کند. در نتیجه‌ی تحریک عصبی به وسیله‌ی تحریک مغزی، آبشاری از وقایع مولکولی روی می‌دهد که منجر به تغییرات عصبی درازمدتی به خصوص در سطح سیناپسی می‌گردد که می‌تواند تا چند ساعت، روز و یا مدت طولانی تری نسبت به طول تحریک وارد شده، دوام آورند (رتی و چانگ^۲، ۲۰۱۵).

جئون 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 سکته‌ی مغزی مورد بررسی بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش آن‌ها ۱۷ جلسه‌ی توانبخشی به صورت ۵ مرتبه در هفته نشان داد که اعمال

^۵- Suttorp, Kohl & et al

^۶- Zaehle, Sandmann, Thorne, Jäncke & Herrmann

^۷- Ohn, Park, Yoo & et al

^۸- Fregni, Boggio, Nitsche & et al

^۹ - right inferior frontal gyrus

^۱- Bindman, Lippold & Redfearn

^۷- Reti & Chang

^۳- auditory continuous performance

^۴- visual continuous performance

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، اوپلندر و کرکوف^۴، ۲۰۱۰).

واشقی، ذوقی و جابرزاده، (۲۰۱۵) در پژوهشی به مطالعه‌ی تأثیر تحریک هم‌زمان کورتکس حرکتی اولیه و نواحی کارکردی مرتبط در افراد بهنگار 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 به طور 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

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. n-back برای تمرینات کامپیوتری شناختی نیز از تکلیف استفاده شد. پس از اعمال این پروتکل به مدت ۱۰ جلسه، گروه آزمایش در مقایسه با گروه کنترل همراه با تحریک تصنیعی، 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 تشید 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، زینر، وارد و همکاران، 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.

⁴- Utz, Dimova, Oppenländer & Kerkhoff

⁵- motor-evoked potentials

¹ - Martin, Liu, Alonzo

² - corticospinal

³ -Lang, Siebner, Ward & et al

گروه اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای آنودال به صورت دو موضعی هم‌زمان یک نیمکره‌ای همراه با تمرینات شناختی ج- گروه اعمال تحریک تصنیعی 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 کمیته اخلاق، جهت انجام پژوهش حاضر، ابتدا شرکت کنندگان 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 افشاء 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 تصنیعی تخصیص داده شدند. به منظور یافتن نقاط مورد نظر بر روی سر از سیستم بین‌المللی ۲۰-۱۰ 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. الکترود کاتد در ناحیه‌ی سوپرالریتال نیمکره‌ی مقابل (راست) (Fp2) کارگذاری شد. گروه کنترل نیز

تعاملاً 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 مونتاژی 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 نسب 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 ۱۳۹۵-۹۶ 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 شناوبی طبیعی بوده و فاقد هر گونه سابقه‌ی ضربه‌ی مغزی، اختلالات روان‌پزشکی، صرع و سوءصرف الکل و یا مواد مخدر بوده‌اند. راست برتری تمامی نمونه‌ها با استفاده از پرسشنامه‌ی برتری طرفی ادینبرگ (اولدفیلد، ۱۹۷۱) مورد تائید 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-

محرك‌ها پاسخ دهنده. بدین صورت که به محرك دایره با راست کلیک و به محرك مربع با چپ کلیک پاسخ دهنده. در ۲۵ درصد آزمون‌ها، محركی صوتی (۷۵۰ هرتز- ۷۵ میلی ثانیه) اندکی پس از محرك دیداری ارائه می‌گردد که هنگام شنیدن آن آزمودنی می‌بایست بالفاصله از پاسخ دادن خودداری نماید (استاپ سیگنال). زمان بین ارائه محرك و استاپ سیگنال در هر آزمون تنظیم شده است (تأخير استاپ سیگنال (SSD)^۳). تکلیف با SSD ۲۵۰ میلی ثانیه آغاز می‌شود و به دنبال آن پس از پاسخ درست، SSD ۵۰ میلی ثانیه افزایش می‌یابد. پس از پاسخ نادرست SSD ۵۰ میلی ثانیه کاهش می‌یابد. تکلیف شامل ۲ مرحله است که مرحله‌ی نخست از ۳۲ آزمون تمرینی و مرحله‌ی دوم از ۱۹۲ آزمون شامل ۳ بلوک ۶۴ تایی با فاصله‌ی 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 مرکز (+) و محرك دیداری در وسط صفحه‌ی نمایشگر با رنگ سفید در زمینه‌ی 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 نوشتمن، نقاشی کردن، پرتاب کردن، قیچی کردن، مساواک زدن، استفاده از چاقو، استفاده از قاشق، جارو کردن، روشن کردن کبریت،

تحریک را به مدت ۳۰ ثانیه بر روی ناحیه‌ی قشر خلفی جانبی پیش‌پیشانی چپ دریافت نمودند و سپس دستگاه به صورت خودکار قطع شد. کلیه‌ی آزمودنی‌ها، پس از اعمال تحریک در هر جلسه، تکلیف استاپ سیگنال را اجرا نمودند. جلسه‌ی 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 داده‌های به دست آمده از نرم افزار SPSS نسخه‌ی 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 (الکترود آند) و 2×6 سانتی‌متر (الکترود کاتد) آغشته به محلول نمک به شدت جریان $0.3 / 3$ میلی‌آمپر و به صورت مستقیم به مدت ۳۰ دقیقه اعمال گردید (واشقی، دوقی و جابر زاده، ۲۰۱۵).

تکلیف استاپ ایت^۱: 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. سایز محرك‌های دیداری برابر با $1/5$ سانتی‌متر مربع است که به مدت $1/250$ میلی ثانیه بر روی صفحه باقی می‌ماند. آزمودنی‌ها می‌بایست در سریع‌ترین زمان ممکن به وسیله‌ی کلیک چپ و راست ماوس کامپیوتر به

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 دارد است.

همان‌گونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، خلاصه‌ی تحلیل واریانس بیانگر آن است که اثر اصلی نمرات اکتسابی آزمودنی‌ها در تکلیف استاپ سیگنال معنادار است.

(Partial $\eta^2 = 0.001$ و $F(4, 72) = 0.813$ و $P < 0.001$)

مقدار لامبایدای ویلکز برابر با مقدار احتمال ۰/۰۱ است؛ بنابراین، با توجه به مجدورات به دست آمده، نمرات آزمودنی‌ها در تکلیف استاپ سیگنال در دو گروه آزمایشی و گروه کنترل تفاوت معناداری با یکدیگر دارند.

(Partial $\eta^2 = 0.001$ و $F(4, 72) = 0.820$ و $P < 0.001$)

به منظور مقایسه میانگین گروه‌های پژوهشی از آزمون t مستقل استفاده شد. در جلسه‌ی نخست بین میانگین‌های دو گروه اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای آنودال به صورت دو موضعی هم‌زمان یک نیمکره‌ای و گروه اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای آنودال به شیوه‌ی مرسوم ($P < 0.05$ و $df = 12$) و دو گروه اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای آنودال به صورت دو موضعی هم‌زمان یک نیمکره‌ای و گروه کنترل همراه با تحریک تصنیعی تفاوت معناداری مشاهده شد. ($P < 0.05$ و $df = 2/56$ و $t = 2/0.05$).

در جلسه‌ی دوم، بین میانگین‌های دو گروه اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای آنودال به صورت دو موضعی هم‌زمان یک نیمکره‌ای و گروه اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای آنودال به شیوه‌ی مرسوم ($P < 0.01$ و $df = 12$ و $t = 3/54$) و دو

باز و بسته کردن درب قوطی مورد سنجش قرار می‌دهد. نتایج آزمون در دامنه‌ای از $+100$ تا -100 - قرار خواهد گرفت. بدین صورت که افراد چپ دست نمراتی را در طیف -40 تا -100 ، آزمودنی‌های راست دست نمراتی در گستره‌ی $+100$ تا $+40$ و افراد دو سو برتر نمراتی در طیف $+40$ تا -40 - کسب خواهند نمود (اولدفیلد^۱، ۱۹۷۱). سه بخش دیگر این پرسشنامه هر کدام دارای ۴ سؤال می‌باشدند.

یافته‌ها

اطلاعات دموگرافیک آزمودنی‌ها شامل میانگین و انحراف معیار شاخص‌های سن و جنسیت آزمودنی‌ها 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 پروتکل‌های مختلف استفاده شده در پژوهش حاضر، از آزمون تعزیزی و تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر استفاده شد. پیش از آزمون تحلیل واریانس، جهت رعایت پیش فرض آزمون‌های کرویت موچلی و لون انجام شد. نتایج آزمون لون حاکی از رعایت مفروضه‌ی یکسانی واریانس ها بود ($P = 0.05$). آزمون موچلی نیز نشان داد که این مفروضه برای تمامی متغیرها رعایت شده است ($P = 0.05$).

در جدول ۳ نتایج تحلیل واریانس درون گروهی با اندازه‌گیری‌های مکرر به جهت بررسی معنی داری تفاوت میانگین‌های گروه‌ها قابل مشاهده است. با توجه به آمارهای توصیفی فوق، نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که

^۱ Oldfield

آنودال به شیوه‌ی مرسوم و گروه کنترل همراه با تحریک تصنیعی ($t=2/35$ و $p<0.05$) و $df=12$ دو گروه اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای آنودال به صورت دو موضعی همزمان یک نیمکره‌ای و گروه کنترل همراه با تحریک تصنیعی تفاوت معناداری مشاهده شد ($t=4/04$ و $p<0.01$) و $df=12$.

در جلسه‌ی پنجم (مرحله‌ی پیگیری)، بین میانگین‌های دو گروه اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای آنودال به صورت دو موضعی همزمان یک نیمکره‌ای و گروه اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای آنودال به شیوه‌ی مرسوم ($t=6/13$ و $p<0.001$) و $df=12$ ، دو گروه اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای آنودال به شیوه‌ی مرسوم ($t=8/20$ و $p<0.001$) و $df=12$ و دو گروه اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای آنودال به صورت دو موضعی همزمان یک نیمکره‌ای و گروه کنترل همراه با تحریک تصنیعی تفاوت معناداری مشاهده شد ($t=1/28$ و $p<0.01$) و $df=12$.

گروه اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای آنودال به صورت دو موضعی همزمان یک نیمکره‌ای و گروه کنترل همراه با تحریک تصنیعی تفاوت معناداری مشاهده شد ($t=4/04$ و $p<0.01$) و $df=12$.

در جلسه‌ی سوم، بین میانگین‌های دو گروه اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای آنودال به صورت دو موضعی همزمان یک نیمکره‌ای و گروه اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای آنودال به شیوه‌ی مرسوم ($t=6/13$ و $p<0.001$) و دو گروه اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای آنودال به صورت دو موضعی همزمان یک نیمکره‌ای و گروه کنترل همراه با تحریک تصنیعی تفاوت معناداری مشاهده شد ($t=6/51$ و $p<0.001$) و $df=12$.

همچنین در جلسه‌ی چهارم، بین میانگین‌های دو گروه اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای آنودال به صورت دو موضعی همزمان یک نیمکره‌ای و گروه اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای آنودال به شیوه‌ی مرسوم ($t=6/18$ و $p<0.001$)، دو گروه اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای

جدول شماره‌ی ۱ اطلاعات دموگرافیک آزمودنی‌ها به تفکیک گروه‌ها

گروه ۲:		گروه ۱:	
متغیرها	اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای آنودال به شیوه‌ی مرسوم بر روی قشر خلفی جانبی پیش‌پیشانی	سن (سال)	ذن/مرد (n)
گروه ۳:	اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای آنودال به صورت دو موضعی برو روی قشر همزمان یک نیمکره‌ای خلفی جانبی پیش‌پیشانی و قشر حرکتی اولیه	۲۲/۴۳ (۱/۹۰)	
۲۳/۸۶ (۳/۲۹)	۲۳/۱۴ (۳/۱۳)	۲۳/۱۴ (۳/۱۳)	
۴/۳	۳/۴	۳/۴	

جدول ۲ میانگین و انحراف معیار نمرات در ۵ جلسه‌ی مداخله

جلسه‌ی پنجم(پیگیری) (n=21)			جلسه‌ی چهارم (n=21)			جلسه‌ی سوم (n=21)			جلسه‌ی نهم (n=21)			جلسه‌ی نخست (n=21)			متغیرها	
۳ گروه (n=۷)	۲ گروه (n=۷)	۱ گروه (n=۷)	۳ گروه (n=۷)	۲ گروه (n=۷)	۱ گروه (n=۷)	۳ گروه (n=۷)	۲ گروه (n=۷)	۱ گروه (n=۷)	۳ گروه (n=۷)	۲ گروه (n=۷)	۱ گروه (n=۷)	۳ گروه (n=۷)	۲ گروه (n=۷)	۱ گروه (n=۷)	(SSRT) زمان راکش استاپ سیگنال	
۴۰۵/۳۶ (۵/۱۴)	۳۳۰/۵۷ (۱۴/۳۲)	۳۸۹/۳۱ (۱۲/۴۰)	۳۹۵/۵۸ (۸/۰۱)	۳۲۵/۹۷ (۱۶/۲۱)	۳۷۹/۳۷ (۱۶/۱۲)	۴۰۰/۸۸ (۱۴/۳۱)	۳۴۷/۸۴ (۱۵/۹۳)	۳۸۸/۱۱۸ (۷/۰۱)	۴۱۰/۶۷ (۱۸/۱۳)	۳۷۱/۱۰ (۱۸/۰۲)	۳۹۸/۴۷ (۸/۶۷)	۴۲۱/۸۶ (۱۹/۲۲)	۳۹۸/۶۷ (۱۶/۲۹)	۴۱۴/۰۱ (۷/۷۹)	تکلیف استاپ سیگنال	

جدول ۳ نتایج آزمون تحلیل واریانس آمیخته برای تکلیف استاپ سیگنال

عامل	مجموع مجذورات	درجه آزادی	میانگین مجذورات	F	اندازه اثر	sig
تکلیف استاپ سیگنال	۲۵۸۹۷/۴۸	۴	۶۴۷۴/۳۷	۷۸/۰۶	.۰/۰۰۱	.۰/۸۱۳
درون گروهی	۷۳۶۳/۴۹	۸	۹۲۰/۴۴	۱۱/۱۰	.۰/۰۰۱	.۰/۵۵۲
خطا	۵۹۷۱/۸۱	۷۲	۸۲/۹۴			
بین گروهی	۵۱۳۴۷/۶۰	۲	۲۵۶۷۴/۸۰	۴۱/۰۹	.۰/۰۰۱	.۰/۸۲۰
خطا	۱۱۲۴۵/۹۷	۱۸	۶۲۴/۷۷۶			
لامبای ویلکز (value=.۰/۲۳۴)	۳۹۸/۴۷	۴۰۱	۴۰۵/۳۶			

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

گروه ۱: گروه اعمال DCS آنودال به شیوه‌ی مرسوم

گروه ۲: اعمال DCS آنودال به صورت دو موضعی همزمان یک نیمکره‌ای

گروه ۳: گروه کنترل همراه با تحریک تصنیعی



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 تنها ی دارد. این نتایج با یافته‌های جنون و هان، ۲۰۱۲؛ پارک و همکاران، ۲۰۱۳؛ دیتیه، جاکوبسون، والش و لاویدور، ۲۰۱۲؛ فردیکسون، ریچاردسون، بیکر و روردن، ۲۰۰۱؛ لتو، دلوکا، روسو و همکاران، ۲۰۱۵؛ لیندنبیرگ، رنگا، ژو، نیر و اشلاوگ، ۲۰۱۰؛ فوئل، ساتورپ، کول و همکاران، ۲۰۱۲؛ جوادی و والش، ۲۰۱۲؛ زال، سندمن، ثورن، جنک و هرمان، ۲۰۱۱؛ اوون، 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 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 واثقی و همکاران (۲۰۱۵) که نشان داد، تحریک هم‌زمان ناحیه‌ی کارکردی مرتبط در علاوه بر ناحیه‌ی مورد نظر، موجب افزایش القای پتانسیل

نمودار ۱ میانگین‌های نمرات کسب شده 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 خطاهای در تکلیف استاپ سیگنال در گروه‌های آزمایشی همراه با اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای یک‌روند 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 بر جسته‌تری 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

از طرف دیگر یافته های 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)^۱ 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 بیش فعالی و اختلالات خوردن، بیماران دچار سکته‌ی مغزی و پارکینسون مورد کار آزمایی 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 کوکتا 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 پیش‌حرکتی 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 پیش‌حرکتی 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 پیش‌حرکتی_ ناحیه‌ی حرکتی اولیه گردد و تحریک پذیری این نواحی را افزایش دهد (واثقی و همکاران، ۲۰۱۵) به نظر می‌رسد با توجه به وجود چنین مسیرهایی 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

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

- 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, & Calabro RS. (2015). Role of tDCS in
- Anderson, P. (2002). Assessment and development of executive function (EF) during childhood. *Child neuropsychology*, 8(2), 71-82.
- Bindman, LJ, Lippold O, & Redfearn 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, Suttorp 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, Bermpohl 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.
- Lindenbergh, 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, Alonso 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.