

تأثیر تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای بر توجه انتخابی در شرایط تکلیف دوگانه

The Effect of Transcranial Direct Current Stimulus on Selective Attention in Dual Task Paradigm

Rasool Abedanzadeh

Saeed Alboghobish

رسول عابدانزاده *

سعید آلبوغیبش **

چکیده

Abstract

The current study aimed to investigate the effect of transcranial direct current stimulus on selective attention in dual task paradigm. By semi-experimental method 28 students of Shahid Chamran University of Ahvaz were recruited (mean age: 25.32 ± 2.46) by available sampling method and assigned into experimental and Sham equally groups. Participants were asked to perform dual task test of Stroop's effect before and after transcranial stimulus. The test included four stimulus onset synchronized of 50, 100, 300 and 900 thousandth of a second between two stimuli in three Stroop's effect conditions with dual task paradigm. The results of the mix analysis of variance revealed that the mean of reaction time in experimental group was better than the other one ($p < 0.05$), therefore, it can result that the transcranial stimulus of prefrontal cortex method decreased the effect of psychological refractory period. Thus this method can improve the capacity of selective attention or information process in humankind

Keywords: Psychological refractory period, Stroop's effect, Prefrontal cortex, Information processing, Reaction time.

پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای بر توجه انتخابی در شرایط تکلیف دوگانه انجام گرفت. این پژوهش از نوع نیمه تجربی بود. بدین منظور تعداد ۲۸ نفر از دانشجویان دانشگاه شهید چمران اهواز با میانگین سنی $25/32 \pm 2/46$ سال به صورت نمونه‌گیری در دسترس انتخاب، و سپس به طور تصادفی به دو گروه آزمایشی و شم تقسیم شدند. از تمامی شرکت‌کنندگان آزمون تکلیف دوگانه اثر استروپ قبل و بعد از تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای به عمل آمد. این آزمون شامل چهار فاصله زمانی ۵۰، ۱۰۰، ۳۰۰ و ۹۰۰ هزارم ثانیه بین دو محرک در سه حالت اثر استروپ در شرایط تکلیف دوگانه بود. نتایج آزمون تحلیل واریانس مرکب نشان داد که میانگین زمان واکنش گروه آزمایشی به طور معناداری از گروه شم بهتر بود؛ در نتیجه تحریک الکتریکی قطعه پیش-پیشانی قشر مغز باعث کاهش اثر دوره بی‌پاسخی روانشناختی می‌شود. پس تحریک الکتریکی، ظرفیت توجه یا سرعت پردازش اطلاعات را در انسان بهبود می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: دوره بی‌پاسخی روانشناختی، اثر استروپ، قشر پیش‌پیشانی، پردازش اطلاعات، زمان واکنش.

* نویسنده مسئول: استادیار رفتار حرکتی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه شهید چمران اهواز

Email: r.abedanzadeh@scu.ac.ir

** کارشناسی ارشد رفتار حرکتی، دانشگاه شهید چمران اهواز

Received: 21 Nov 2017 Accepted: 17 Dec 2017

پذیرش: ۹۶/۹/۲۶

دریافت: ۹۶/۸/۳۰

مقدمه

تکالیف روزمره اغلب شامل انجام هم‌زمان دو تکلیف است. تقسیم توجه در این شرایط امری اجتناب‌ناپذیر است. سیستم شناختی انسان در انجام هم‌زمان دو تکلیف کارآمدی بالایی ندارد (شهبانی، ۱۳۹۵؛ رستمی، بشارت، کریمی و فراهانی، ۱۳۹۵). به عنوان مثال، توانایی عکس‌العمل سریع راننده به علامت چراغ قرمز در حالی که مشغول صحبت کردن با فرد دیگر باشد، کاهش می‌یابد. هزینه پردازش تکلیف دوگانه یا تأخیر در پاسخ به هر دو محرک در یک زمان با الگوی دوره بی‌پاسخی روانشناختی قابل توضیح است (سودشک، تیلور و شوپرت، ۲۰۱۷). در دوره بی‌پاسخی روانشناختی دو محرک با فاصله شروع ناهم‌زمان نزدیک به هم ارائه می‌شوند و دو پاسخ سریع مورد نیاز است. پاسخ به محرک دوم نسبت به انجام کار در شرایط مجزا کندتر است. تداخل به طور کلی شکلی از تأخیر در زمان پاسخ به محرک دوم است (آلبوغبیش، شتاب بوشهری، دانشفر و عابدان‌زاده، ۱۳۹۶). مطالعه‌های قبلی نشان دادند، تصمیم‌های حساس به جمع‌آوری اطلاعات حسی نیاز دارند (گلد و شادلن، ۲۰۰۷). جمع‌آوری اطلاعات در طول دوره بی‌پاسخی روانشناختی باعث کاهش کارایی می‌شود. این کاهش کارایی نشان‌دهنده این است که پردازش اطلاعات می‌تواند به طور موازی در مغز انسان انجام شود (زایلببرگ، آیولت، سیگمن و روثلسما، ۲۰۱۲). در دوره بی‌پاسخی روانشناختی زمان واکنش و دامنه خطا با کاهش فاصله بین دو محرک افزایش می‌یابد. این اختلال با شروع پردازش دقیق اجزای تکلیف و نظریه گردن بطری^۱ توضیح داده می‌شود. نظریه گردن بطری نشان‌دهنده عدم وابستگی فرایند پردازش تکلیف اول به تکلیف دوم و عدم تأخیر پردازش محرک اول در گردن بطری است (استروباخ، شوتز و شوپرت، ۲۰۱۵؛ فیشر و پلسو، ۲۰۱۵). نظریه‌های متفاوتی برای توضیح دوره بی‌پاسخی روانشناختی ارائه شد. از جمله مهم‌ترین آن‌ها نظریه تک کانالی ولفورد^۲ است. در نظریه اصلی ولفورد همه فرایندها پردازش اطلاعات به توجه نیازمند هستند. این به معنی آن است که سیستم پردازش اطلاعات به عنوان یک کانال واحد اطلاعات عمل می‌کند که تنها توسط یک فرایند محرک- پاسخ در یک زمان معین می‌تواند اشغال شود. به همین دلیل است که در یک وضعیت تحریک دوگانه، دو محرک هم‌زمان به طور موازی پردازش نمی‌شوند. پس محرک دوم باید منتظر بماند تا کانال از فرایند محرک اول خالی شود. این تأخیر یا انتظار باعث ایجاد اثر دوره بی‌پاسخی روانشناختی می‌شود. مدل اشتراک‌گزار^۳ مدعی است که پردازش دو محرک می‌تواند هم‌زمان و موازی انجام شود. به عبارت دیگر، توجه یا منبع پردازش اطلاعات می‌تواند بین دو فرایند پردازش هم‌زمان دو محرک به اشتراک گذاشته شود (آلبوغبیش و همکاران، ۱۳۹۶). تکالیفی که نیازهای پردازشی بالاتری دارند، نسبت به تکالیفی که نیازهای پردازشی کمتری دارند، زمان واکنش به آن‌ها بالاتر است (آلبوغبیش و همکاران، ۱۳۹۶). استفاده از اثر استروپ باعث افزایش پیچیدگی فرایند تحلیل محرک و انتخاب پاسخ می‌شود.

¹- Bottleneck Theory

²- Welford Single Channel Theory

³- Capacity-Sharing Model

تأثیر تحریک الکتریکی فراجمعه‌ای بر توجه انتخابی در شرایط تکلیف دوگانه

اثر استروپ در سال ۱۹۳۵ توسط جان ریدلی استروپ^۱ معرفی شده است. توجه انتخابی و بازداری^۲ از جمله فرایندهای شناختی که بیشتر در اجرای این اثر مورد توجه است (به نقل از فهیمی، ارجمندنیا و فتح آبادی، ۱۳۹۳؛ احمدی و حسن‌زاده، ۱۳۹۴). این اثر نقص در این دو عملکرد را مورد ارزیابی قرار می‌دهد (کاپولا و همکاران، ۲۰۱۰). کنترل مهاری نقشی مهمی در کارکردهای اجرایی ایفا می‌کند و به افکار و اعمال افراد نظم می‌دهد. نقص مهار پاسخ که در نهایت نقص کنترل مهاری را به وجود می‌آورد، در مشکلات رفتاری که با اختلالات رشدی مانند اختلال نقص توجه در ارتباط است. شایان ذکر است که مکانیسم‌های مهاری انواع متفاوت دارند: مهار در شرایط تداخل که محرک‌های مزاحم باید نادیده انگاشته شوند و یک محرک، محرک هدف قلمداد شود، مهار در شرایط تداخل که وجوه خاصی از محرک، هدف است و سایر وجوه باید مهار گردند و دیگری مهار محرک‌های هدف پیشین^۳ است که فرد در یک بخش تکلیف برای یک محرک پاداش دریافت می‌کند و در بخش دیگر باید همان محرک را مهار کند (دیک و همکاران، ۲۰۱۰). در مورد نواحی درگیر در کنترل مهاری نتایج مطالعات تصویربرداری عصبی نشان داده‌اند که به هنگام فعالیت کنترل مهاری، شکنج تحتانی قطعه پیشانی راست فعال می‌شود. مطالعات تصویربرداری تشدید مغناطیسی ساختاری، تصویربرداری تشدید مغناطیسی کارکردی و الکتروآنسفالوگرافی شواهدی قوی مبنی بر اینکه نقص در ناحیه پیشانی راست به خصوص در پیش‌پیشانی، زیربنای تخریب کنترل مهار است فراهم آورده‌اند (واپیدا و همکاران، ۱۹۹۸؛ اورتوم و همکاران، ۲۰۰۲). مطالعات تصویربرداری عصبی نورونی نشان می‌دهد مناطق قشر پیش پیشانی طرفی راست که شامل شکنج فوقانی، شکنج میانی و مهم‌تر از همه شکنج پیشانی تحتانی می‌شود؛ نقش مهم و کلیدی را در بازداری پاسخ‌های حرکتی افراد سالم ایفا می‌کند و این مناطق از طریق اجرای هر دو آزمون برو/نرو و نشانه توقف فعال می‌شوند. در مقابل، افراد مبتلا به اختلال نقص توجه و بیش‌فعالی در مقایسه با گروه کنترل در حین اجرای این دو آزمون کاهش فعالیت در مناطق قشر پیش پیشانی طرفی راست را نشان می‌دهند (دپو، برگس، ویلکات، روزیک و بنیچ، ۲۰۱۰). تحریک الکتریکی مستقیم از روی جمجمه یک تکنیک درمانی عصبی است که جریان مستقیم و ضعیفی را به مناطق قشری وارد و فعالیت خودانگیخته عصبی را تسهیل یا بازداری می‌کند (بروننی و همکاران، ۲۰۱۲). استفاده از جریان مستقیم الکتریکی به منظور تغییر تحریک‌پذیری کورتکس در نواحی موردنظر موجب افزایش یا کاهش کارکردهای مغزی می‌شود (نیتشه و همکاران، ۲۰۰۵). در حالی که کانون تحریک الکتریکی مستقیم مغز از روی جمجمه تا اندازه‌ای محدود است، اما تأثیرات جمجمه کارکردی آن مستقیماً در ناحیه‌ی محدود به طور گسترده مورد آزمایش و بررسی قرار همکاران، ۲۰۰۵). تحریک الکتریکی مستقیم مغز در یک دهه گذشته به طور گسترده مورد آزمایش و بررسی قرار گرفته است و به عنوان یک روش جایگزین غیرتهاجمی، ارزان و ایمن برای تغییر تحریک‌پذیری قشر مغز از طریق

1- John Ridley Stroop

2- Select Attention and Inhibition

3- Prepotent Inhibition

تغییر پتانسیل استراحت سلول‌های عصبی قشر مغز عمل می‌کند (داسیلوا، ولز، بیکسون و فرگنی، ۲۰۱۳). در تحریک الکتریکی فراجمعه‌ای موقعیت الکترودها در تعیین اثربخشی تحریک بسیار مهم است. شدت تحریک تا دو میلی‌آمپر و طول مدت تحریک حدود ۲۲ دقیقه هیچ خطری ندارد و کاملاً ایمن است. در حین تحریک اثرات جانبی کم و خفیف شامل خارش در زیر الکتروود و سردرد خفیف، هم در طول تحریک و هم در زمانی که دستگاه خاموش است، دیده می‌شود. این اثرات در مناطق مغزی مختلف در آزمودنی‌های سالم و در بیماران با اختلالات نورولوژیکی مختلف دیده می‌شود (یوتز، دیموا، آپلندر و کرخوف، ۲۰۱۰). مطالعاتی که اثربخشی تحریک الکتریکی فراجمعه‌ای را بر روی عملکردهای شناختی بررسی کرده‌اند؛ اثرات بازدارنده و تسهیل را نشان می‌دهند. برای مثال تحریک آندی قشر خلفی خارجی پیش‌پیشانی^۱ دقت عملکرد در آزمون ترتیب حروف در افراد سالم، آزمون ان بک حافظه کاری در بیماران با اختلال پارکینسون و آزمون فراختای اعداد در بیماران با افسردگی اساسی را بعد از پنج جلسه تحریک بهبود می‌بخشد (یوتز و همکاران، ۲۰۱۰). در مطالعه سلطانی نژاد، نجاتی و اختیاری (۱۳۹۳) که بر روی ۲۰ شرکت‌کننده که اختلال نقص توجه و بیش‌فعالی داشتند، انجام شد، نتایج این مطالعه نشان داد که تحریک شکنج پیشانی تحتانی راست را بررسی کردند. در این مطالعه بین گروه تحریک واقعی و گروه شم تفاوتی معناداری مشاهده نشد. با توجه به تأثیر تحریک الکتریکی فراجمعه‌ای بر عملکرد مهارتی در شرایط مجزا و محدودیت مطالعه‌های انجام شده در حیطه تکلیف دوگانه همچنین نتایج متناقض برخی مطالعه‌ها، محقق فرض می‌کند که تحریک الکتریکی فراجمعه‌ای بر زمان واکنش توجه انتخابی در شرایط تکلیف دوگانه و گردن بطری در دوره بی‌پاسخی روانشناختی تأثیر دارد. همچنین فرض می‌کند که این تأثیر شاید باعث گذشتن از گردن بطری شود.

روش

این پژوهش از نوع کاربردی با روش نیمه آزمایشی و با استفاده از طرح پیش‌آزمون- پس‌آزمون انجام گرفت. جامعه آماری آن را کلیه دانشجویان پسر و دختر دانشگاه شهید چمران اهواز با میانگین سنی $25/32 \pm 2/46$ سال، در سال تحصیلی ۹۶-۹۵ تشکیل دادند. از بین جامعه آماری موردنظر ۲۸ نفر از دانشجویانی که دارای بینایی طبیعی بودند، به صورت نمونه‌گیری در دسترس انتخاب شدند و به طور تصادفی در دو گروه آزمایشی و شم قرار گرفتند. هر گروه شامل هفت پسر و هفت دختر بود. افرادی که بینایی طبیعی داشتند، به صورت داوطلبانه در پژوهش شرکت کردند. همچنین در طول تحقیق شرکت‌کنندگان، برای ادامه یا انصراف از روند تحقیق مختار بودند.

¹- Dorsolateral Prefrontal Cortex

تأثیر تحریک الکتریکی فراجمعه‌ای بر توجه انتخابی در شرایط تکلیف دوگانه

ابزار

دستگاه تحریک الکتریکی مستقیم فراجمعه‌ای: برای اعمال تحریک مغزی در این پژوهش از دستگاه تحریک الکتریکی مستقیم فراجمعه‌ای^۱ مدل نورواستیم^۲ محصول شرکت مدینا طب گستر و مؤسسه علوم شناختی سینا استفاده شد. این دستگاه از سال ۲۰۱۵ روانه بازار شده و جهت ارائه تحریک فراجمعه‌ای با جریان الکتریکی طراحی شده است و می‌تواند ۵ نوع تحریک مختلف شامل تحریک الکتریکی فراجمعه‌ای با جریان مستقیم، تحریک الکتریکی فراجمعه‌ای با جریان متناوب^۳، تحریک الکتریکی فراجمعه‌ای با جریان پالس^۴، تحریک الکتریکی فراجمعه‌ای با جریان مستقیم - نوسانی^۵ و تحریک فراجمعه‌ای با نویز تصادفی^۶ را ارائه دهد. دستگاه دارای دو کانال کاملاً مجزا بوده و هر کانال به‌طور مستقل از دیگری قابل تنظیم و اعمال انواع تحریک است. پارامترهای مختلف تحریک نظیر شدت جریان، زمان و فرکانس قابل تنظیم است. شدت جریان خروجی این دستگاه از ۰/۱ تا ۲ میلی‌آمپر و مدت زمان ارائه‌ی تحریک تا ۴۵ دقیقه و فرکانس موج خروجی تا ۲۰۰ هرتز قابل تنظیم است. از دیگر خصوصیات این دستگاه قابلیت نمایش مداوم مقاومت الکترودها برای پیشگیری از سوزش پوست ناشی از افزایش مقاومت است. دستگاه موردنظر قابلیت اعمال تحریک ساختگی را نیز دارد. همچنین مجهز به هشداردهنده صوتی است که در مواقع جداشدن الکترودها از سر، افزایش مقاومت الکترودها، کاهش شارژ باتری و اتمام جلسه به صدا درمی‌آید. این دستگاه مجهز به باتری قابل شارژ (تا هشت ساعت کارکرد مداوم) است. برای تحریک قشر حرکتی از پد ابری با ابعاد ۳/۵×۳/۵ سانتی‌متر و برای تحریک مخچه‌ای از پد ابری با ابعاد ۲/۵×۲/۵ بر روی الکترودها استفاده خواهد شد. همچنین محلول نمکی جهت خیس کردن پدها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

دستگاه تحریک دوگانه محرک‌های شنیداری و اثر استروپ: یک دستگاه محقق ساخته است که بخش نرم‌افزار آن در محیط Microsoft .NET Framework نگارش شده است. این بخش دارای قابلیت تنظیم و انتخاب نوع توالی محرک اول و دوم به صورت شنیداری، خنثی، همخوان و ناهمخوان است. در این دستگاه فاصله زمانی بین دو محرک قابل تنظیم است و امکان تنظیم هر فاصله زمانی وجود دارد. بخش خروجی داده‌های این نرم‌افزار که شامل زمان واکنش اول و دوم و نوع انتخاب پاسخ انجام شده در محیط اکسل گزارش داده می‌شود. این دستگاه دارای یک سخت‌افزار به صورت صفحه‌کلید حاوی چهار دکمه به رنگ‌های آبی، قرمز،

1- Transcranial Direct Current Stimulation

2- Neuristim

3- Transcranial Alternating Current Stimulation

4- Transcranial Pulsed Current Stimulation

5- Oscillatory Transcranial Direct Stimulation

6- Transcranial Random Noise Stimulation

زرد و سبز (برای پاسخ دادن به محرک‌های دیداری) و دو دکمه با جهت بالا و پایین (مثلثی شکل) برای محرک‌های شنیداری است. این صفحه کلید از طریق پورت یو اس بی به لپ‌تاپ با صفحه مانیتور ۱۵/۶ اینچ وصل می‌شود. برای ارزیابی پایایی این دستگاه از یک مطالعه راهنما که بر روی ۲۰ آزمودنی از میان دانشجویان دانشگاه شهید چمران انجام شد و توسط روش آزمون-آزمون مجدد پایایی آن ۰/۸۲ تعیین شد. برای ارزیابی روایی این ابزار از روش آزمون روایی هم‌زمان با دستگاه سنجش زمان واکنش یاگامی وای بی^۱ ۱۰۰۰ استفاده شد که بین زمان‌های واکنش حاصل از این دودستگاه، ضریب همبستگی پیرسون ۰/۸۰ حاصل شد. لازم به ذکر است با توجه به سرعت انتقال اطلاعات ارسالی از سخت‌افزار به لپ‌تاپ احتمال خطای زمانی رکوردهای ثبت شده ۰/۰۰۱ ثانیه است.

اجرا

آزمون اثر استروپ بر دوره بی‌پاسخی روانشناختی: کوشش‌های آشنایی برای شرکت‌کنندگان به طور آزمایشی در چهار فاصله‌های زمانی (۵۰، ۱۰۰، ۲۵۰، ۴۰۰ و ۱۰۰۰ هزارم ثانیه) بین دو محرک در حالت‌های تکلیف دوگانه همخوان، خنثی و ناهمخوان آزمون اثر استروپ در دوره بی‌پاسخی روانشناختی اجرا شد. این فاصله‌های زمانی بین شروع ناهم‌زمان دو محرک از مطالعه پژوهشی فوگوت و پاشلر (۱۹۹۲) و لوگان و گوردن (۲۰۰۱) اتخاذ شد. برای حذف تداخل ساختاری بین اندام‌ها دو کلید آبی و سبز در سمت راست شرکت‌کننده با دست راست و کلیدهای قرمز و زرد واقع در سمت چپ شرکت‌کننده با دست چپ پاسخ داده شد. در هر کوشش از هر دو دست برای پاسخ‌دهی به محرک‌ها استفاده شد. در هیچ کوششی از یک دست برای دو پاسخ استفاده نشد. ترتیب ظهور رنگ‌ها برای همه محرک‌ها تصادفی بود و در هر کوشش از دو رنگ مختلف استفاده شد. پس از یک مرحله تمرینی از آزمودنی‌ها در چهار بلوک سه کوششی در شرایط ذیل آزمون تکلیف دوگانه اثر استروپ به عمل آمد. در بلوک اول در فاصله زمانی ۱۰۰ هزارم ثانیه بین دو محرک، محرک اول و دوم در دو حالت همخوان (تطابق رنگ جوهر با کلمه مذکور، به عنوان مثال کلمه قرمز با رنگ قرمز نوشته شد)، ناهمخوان (عدم تطابق رنگ جوهر به کاربرده شده با کلمه مذکور، به عنوان مثال کلمه آبی با رنگ قرمز نوشته شد) یا خنثی به صورت تصادفی ارائه شد، فاصله بین این کوشش‌ها ۲ ثانیه (فاگوت و پاشلر، ۱۹۹۲) بود. در این آزمون از چهار رنگ آبی، قرمز، سبز و زرد استفاده شد. آزمودنی‌ها بدون در نظر گرفتن معنی کلمه ظاهر شده در نمایشگر فقط رنگ آن را شناسایی می‌کردند و با فشار دادن دکمه (قرمز، آبی، زرد یا سبز) متناسب با رنگ کلمه نشان داده شده، با سریع‌ترین زمان ممکن به محرک‌ها پاسخ دادند. توالی ظهور محرک‌ها به صورت همخوان-همخوان، همخوان-ناهمخوان، ناهمخوان-ناهمخوان و ناهمخوان-همخوان بود. برای جلوگیری از حدس زدن کوشش بعدی ترتیب ظهور محرک‌ها در هر بلوک به صورت تصادفی ارائه شد (جمعاً چهار کوشش تکلیف دوگانه مختلف در هر بلوک). فاصله

¹- YAGAMI YB – 1000

تأثیر تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای بر توجه انتخابی در شرایط تکلیف دوگانه

استراحت بین همه‌ی بلوک‌ها با استناد به پژوهش فاگوت و پاشلر (۱۹۹۲) ۲ دقیقه در نظر گرفته شد. رنگ پس‌زمینه صفحه نمایشگر در همه‌ی کوشش‌ها سفید بود. در این مطالعه چهار بلوک شامل فاصله‌های زمانی ۵۰، ۱۰۰، ۳۰۰ و ۹۰۰ هزارم ثانیه بود که به صورت تصادفی ارائه شدند. شرکت‌کنندگان از این ترتیب اطلاعی نداشتند. همچنین نوع محرک‌ها به صورت تصادفی در هر کوشش و با نسبت برابر بین تعداد کل کوشش‌های شرکت‌کنندگان بود. در حالی که، شرکت‌کنندگان به روی یک صندلی با فاصله ۶۰ سانتی‌متری از صفحه نمایشگر نشسته بودند، ۱۶ کوشش متفاوت را انجام دادند. شایان ذکر است که پاسخ‌های سریع‌تر از ۱۵۰ هزارم ثانیه در محرک اول و پاسخ‌های طولانی‌تر از ۲۵۰۰ هزارم ثانیه در محرک دوم از روند مطالعه حذف و سپس تکرار شدند (فوگوت و پاشلر، ۱۹۹۲). شرایط پیش‌آزمون و پس‌آزمون اثر استروپ بر دوره بی‌پاسخی روانشناختی یکسان و برای هر دو گروه در شرایط یکسان برگزار شد.

نحوه اعمال تحریک الکتریکی: عملکرد گروه شم و آزمایشی در هر سه آزمایش ذکر شده قبل و بعد از تحریک تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مقایسه خواهد شد. قسمت پیش‌پیشانی تحتانی مغز شرکت‌کنندگان با شدت ۱/۵ میلی‌آمپر به مدت ۲۰ دقیقه تحریک خواهد شد. پس از گرفتن پیش‌آزمون تمامی شرکت‌کنندگان به طور تصادفی به دو گروه کنترل و آزمایشی تقسیم شدند. الکترودهای دستگاه تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای به هر دو گروه شم و آزمایشی وصل شد. با این تفاوت که در گروه شم پس از ۱۰ ثانیه تحریک، جریان الکتریکی از الکترودها قطع شد. لذا شرکت‌کنندگان از قرار گرفتن در گروه کنترل یا آزمایشی اطلاعی نداشتند.

یافته‌ها

میانگین و انحراف استاندارد زمان واکنش به محرک‌های اثر استروپ در شرایط تحریک دوگانه به شرح ذیل است.

جدول ۱- میانگین و انحراف معیار زمان واکنش دوم گروه‌های شم و آزمایشی

مرحله	۵۰ هزارم ثانیه	۱۰۰ هزارم ثانیه	۳۰۰ هزارم ثانیه	۹۰۰ هزارم ثانیه	گروه	کوشش
آزمون	میانگین ± انحراف معیار	میانگین ± انحراف معیار	میانگین ± انحراف معیار	میانگین ± انحراف معیار		
پیش	۱۷۰۴/۳۲۸ ± ۹۲/۷۰	۱۶۰۸/۳۴۸ ± ۹۲/۳۲	۱۳۰۰/۲۴۰ ± ۶۱/۰۸	۱۰۷۷/۳۰۷ ± ۱۵/۸۷	شم	خنثی - خنثی
پس	۱۴۳۷/۶۹ ± ۱۴۶/۶۴	۱۳۰۶/۳۸۱ ± ۱۹۸/۴۷	۱۱۶۷/۳۰ ± ۲۲۲/۳۴	۹۰۲/۳۰ ± ۱۶۴/۶۵	آزمایشی	
پیش	۱۷۳۴/۲۵۸ ± ۱۵/۵۰	۱۷۲۵/۱۶۷ ± ۳۰/۵۹	۱۴۰۶/۲۵۷ ± ۳۸/۴۱	۱۰۰۹/۲۰۲ ± ۰/۳۱	شم	همخوان - همخوان
پس	۱۷۳۷/۷۶ ± ۲۰/۹۵	۱۶۸۹/۰ ± ۱۹۱/۳۶	۱۴۰۷/۳۰ ± ۱۶۱/۵۷	۱۲۷۵/۹۲ ± ۱۹۲/۳۰	آزمایشی	
پیش	۱۵۶۱/۱۷۴ ± ۱۵/۷۷	۱۵۳۷/۲۹۰ ± ۵۳/۶۳	۱۳۶۵/۲۴۹ ± ۷۶/۰۳	۱۰۲۲/۲۷۰ ± ۲۳/۸۶	شم	ناهمخوان - ناهمخوان
پس	۱۳۸۱/۰۷ ± ۱۶۲/۴۹	۱۲۳۹/۹۲ ± ۲۰۵/۸۸	۱۱۰۹/۷۶ ± ۱۲۶/۱۷	۹۳۰/۳۸ ± ۱۶۰/۳۴	آزمایشی	
پیش	۱۵۳۸/۲۵۳ ± ۹۲/۹۲	۱۵۰۲/۲۸۶ ± ۷۶/۰۵	۱۳۲۱/۲۵۷ ± ۳۰/۷۰	۹۴۰/۱۸۳ ± ۵۳/۸۰	شم	
پس	۱۶۰۳/۷۶ ± ۱۷۶/۵۳	۱۵۱۸/۳۰ ± ۲۱۳/۶۷	۱۴۸۸/۶۱ ± ۲۲۰/۵۴	۱۰۸۰/۹۲ ± ۹۴/۵۶	آزمایشی	
پیش	۱۹۲۰/۳۲۵ ± ۹۲/۷۷	۱۶۸۲/۸۴ ± ۱۵/۶۵	۱۶۷۳/۲۷۱ ± ۰/۷۱	۱۲۲۰/۳۴۶ ± ۳۰/۷۱	شم	
پس	۱۶۲۲/۳۰ ± ۷۲/۴۸	۱۵۶۰/۵۳ ± ۶۶/۰۱	۱۳۴۳/۶۱ ± ۱۳۹/۹۹	۱۱۰۲/۶۱ ± ۹۶/۷۹	آزمایشی	
پیش	۱۸۵۶/۳۱۱ ± ۰/۵۵	۱۸۰۶/۳۵۲ ± ۶۱/۵۶	۱۶۵۵/۲۵۲ ± ۳۰/۸۵	۱۱۹۸/۲۴۶ ± ۴۶/۷۴	شم	
پس	۱۹۰۰/۹۲ ± ۱۱۶/۶۷	۱۶۹۹/۶۱ ± ۷۱/۶۳	۱۶۷۳/۶۹ ± ۱۳۲/۳۴	۱۳۱۶/۰ ± ۱۰۵/۶۹	آزمایشی	

بررسی تفاوت اثرگذاری تحریک الکتریکی قسمت پیش پیشانی بر تکلیف دوگانه خنثی - خنثی، همخوان - همخوان و ناهمخوان - ناهمخوان از سه آزمون تحلیل واریانس مرکب ۲ (گروه) × ۴ (فاصله زمانی) به‌طور جداگانه برای هر سه حالت، با سنجش مکرر بر عامل دوم استفاده شد که نتایج آن به شرح ذیل است:

در تکلیف دوگانه خنثی - خنثی اثر اصلی زمان اندازه‌گیری ($F_{(۳,۲۷)}=۴۲/۸۹, p=۰/۰۰۰۱, \eta^2=۰/۶۴$) معنی‌دار بود. همچنین اثر اصلی گروه ($F_{(۱,۲۴)}=۲۸/۵۱, p=۰/۰۰۰۱, \eta^2=۰/۵۴$) معنی‌دار شد. علاوه بر این، تعامل زمان اندازه‌گیری با گروه نیز ($F_{(۳,۲۷)}=۵/۱۵, p=۰/۰۰۱, \eta^2=۰/۱۲$) معنادار بود. در تکلیف دوگانه همخوان - همخوان اثر اصلی زمان اندازه‌گیری ($F_{(۳,۲۷)}=۶۱/۱۰, p=۰/۰۰۰۱, \eta^2=۰/۷۱$) معنی‌دار بود. همچنین اثر اصلی گروه ($F_{(۳,۲۷)}=۳/۳۵, p=۰/۰۰۲, \eta^2=۰/۱۲$) معنی‌دار شد. علاوه بر این، تعامل زمان اندازه‌گیری با گروه نیز ($F_{(۱,۲۴)}=۲۶/۰۴, p=۰/۰۰۰۱, \eta^2=۰/۱۲$) معنی‌دار بود. در تکلیف دوگانه ناهمخوان - ناهمخوان اثر اصلی زمان اندازه‌گیری ($F_{(۳,۲۷)}=۲۰۷/۴۵, p=۰/۰۰۰۱, \eta^2=۰/۸۹$) معنی‌دار بود. همچنین اثر اصلی گروه ($F_{(۳,۲۷)}=۲۰۷/۴۵, p=۰/۰۰۰۱, \eta^2=۰/۸۹$) معنی‌دار بود.

تأثیر تحریک الکتریکی فراجمعه‌ای بر توجه انتخابی در شرایط تکلیف دوگانه

معنی‌دار شد. علاوه بر این، تعامل زمان اندازه‌گیری با گروه نیز ($F_{(1,22)}=111/09$ ، $p=0/02$ ، $\eta^2=0/11$) معنی‌دار بود. جهت بررسی تفاوت عملکرد دو گروه از آزمون تی مستقل به طور جداگانه برای هر فاصله زمانی در هر حالت استفاده شد نتایج این آزمون به شرح ذیل است:

جدول ۲- نتایج آزمون تی مستقل بین گروه آزمایشی و شم در سه حالت اثر استروپ و در هر چهار فاصله زمانی بین دو محرک

ناهمخوان- ناهمخوان		همخوان- همخوان		خنثی- خنثی		فاصله زمانی بین دو محرک
t	سطح معنی‌داری	t	سطح معنی‌داری	t	سطح معنی‌داری	
-۱۰/۱۶	۰/۰۰۰۱*	-۳/۳۴	۰/۰۰۳*	-۳/۸۱	۰/۰۰۱*	۵۰ هزارم ثانیه
-۵/۱۴	۰/۰۰۰۱*	-۳/۵۰	۰/۰۰۳*	-۵/۰	۰/۰۰۰۱*	۱۰۰ هزارم ثانیه
-۵/۵۰	۰/۰۰۰۱*	-۵/۳۷	۰/۰۰۰۱*	-۵/۳۲	۰/۰۰۰۱*	۳۰۰ هزارم ثانیه
-۵/۳۶	۰/۰۰۰۱*	-۲/۹۱	۰/۰۰۸*	-۳/۱۴	۰/۰۰۴*	۹۰۰ هزارم ثانیه

* آزمون تی در سطح ۰/۰۱ معنادار است.

طبق نتایج جدول ۲ و میانگین زمان واکنش گروه آزمایشی از گروه شم به طور معنادار زمان واکنش کوتاه‌تری در هر سه حالت آزمون اثر استروپ و در هر چهار فاصله زمانی داشتند.

بحث و نتیجه‌گیری

تحریک الکتریکی مستقیم مغز شیوه‌ای غیرتهاجمی است که طی آن جریان الکتریکی مستقیم ضعیفی بر پوست سر وارد شده و با بکار گرفتن آن تغییراتی در قشر مغز ایجاد می‌شود (استروباخ، سوتشک، آنتوننکو، فلوتل و شوپرت، ۲۰۱۵). مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر تحریک الکتریکی فراجمعه‌ای قسمت پیش‌پیشانی قشر مغز بر دوره بی‌پاسخی روانشناختی انجام شد. در تکلیف دوگانه با محرک خنثی- خنثی بر دوره بی‌پاسخی روانشناختی در بین گروه آزمایشی و شم در مرحله پس‌آزمون تفاوت معناداری وجود داشت. در مرحله پس‌آزمون در هر چهار فاصله زمانی بین دو محرک (۵۰، ۱۰۰، ۳۰۰ و ۹۰۰ هزارم ثانیه) زمان واکنش دوم گروه آزمایشی از گروه تحریک شم بهتر بود. این تفاوت در عملکرد بهتر گروه آزمایشی در فاصله زمانی بین دو محرک ۵۰ هزارم بیشتر از بقیه فاصله‌ها بوده است. با افزایش فاصله بین دو محرک اختلاف عملکرد روند کاهشی داشت؛ این اختلاف حتی در فاصله ۹۰۰ هزارم ثانیه بین دو محرک در کوشش‌های خنثی- همخوان یا خنثی- ناهمخوان، خنثی- خنثی و خنثی شنیداری همچنان قابل مشاهده بود. به نظر می‌رسد، تحریک الکتریکی قسمت پیش‌پیشانی مغز باعث کاهش زمان واکنش می‌شود با توجه به اینکه انجام تکالیف دوگانه باعث افزایش فعالیت در قشر پیش‌پیشانی جانبی خلفی می‌شود (استروباخ و آنتوننکو، ۲۰۱۷)، این افزایش فعالیت در مطالعات تکالیف دوگانه با FMRI مشاهده شده است (لوگوتیس، ۲۰۰۸). لذا به نظر می‌رسد تحریک الکتریکی این ناحیه باعث کاهش زمان

پردازش اطلاعات می‌شود. هسیو، زانتو، آنکوئرا، لین و گزالی (۲۰۱۵) به نتایج مشابهی دست یافتند. تحریک الکتریکی قشر پیش‌پیشانی جانبی خلفی در تکلیف دوگانه اثر استروپ باعث کاهش معنادار اثر دوره بی‌پاسخی روانشناختی در گروه آزمایشی شد، اما در گروه شم تأثیری نداشت. در مرحله پس‌آزمون در هر چهار فاصله زمانی بین دو محرک (۵۰، ۱۰۰، ۳۰۰ و ۹۰۰ هزارم ثانیه) زمان واکنش دوم گروه آزمایشی از گروه تحریک شم بهتر بود؛ اما در مرحله پیش‌آزمون بین دو گروه از لحاظ آماری تفاوتی مشاهده نشد. این تفاوت نشان‌دهنده تأثیر مثبت تحریک الکتریکی قطعه پیش‌پیشانی قشر مغز بر سرعت پردازش اطلاعات بود. با مرور اکثر مطالعه‌های دوره بی‌پاسخی روانشناختی به نظر می‌رسد که ظرفیت پردازش اطلاعات در انسان محدود است و به هنگام پردازش دو تکلیف در جایگاهی به نام گردن بطری از پردازش هم‌زمان دو تکلیف جلوگیری می‌شود. به هنگام شرایط تکلیف دوگانه در کانال پردازش اطلاعات در یکی از مراحل سه‌گانه شناسایی محرک، گزینش پاسخ یا برنامه‌یزی پاسخ تنگای گردن بطری مانع از پردازش هم‌زمان دو تکلیف می‌شود. پس تکلیف دوم باید منتظر بماند تا تکلیف دوم از گردن بطری عبور کند تا پردازش آن دوباره از سر گرفته شود (آلبوغبیش و همکاران، ۱۳۹۶). به نظر می‌رسد که در صورتی وجود این تنگا در مراحل پردازش اطلاعات تحریک الکتریکی قطعه پیش‌پیشانی قشر مغز باعث پردازش هم‌زمان دو تکلیف نمی‌شود، بلکه سرعت عبور یا پردازش محرک اول را افزایش می‌دهد. لذا اثر دوره بی‌پاسخی روانشناختی کاهش می‌یابد. ارکان و یاریاری (۱۳۹۱) نیز به نتایج مشابهی در اثرگذاری تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای در شرایط تکلیف مجزا دست یافتند. ارکان و یاریاری (۱۳۹۱) در پژوهش خود به بررسی تأثیر تحریک مغز از روی مجموعه با استفاده از جریان مستقیم الکتریکی بر روی حافظه کاری در ناحیه قشر پیش‌پیشانی خلفی جانبی پرداختند. شرکت‌کنندگان قبل و بعد از تحریک با آزمون تعیین فراخنای حافظه کاری جهت بررسی زمان واکنش و تعداد پاسخ‌های درست مورد سنجش قرار گرفتند. در نهایت مشخص شد که تغییر در زمان واکنش و تعداد پاسخ‌های درست از لحاظ آماری معنادار است. این مطالعه نشان داد که تحریک آندی سبب کاهش زمان واکنش و افزایش تعداد پاسخ‌های صحیح شده است و به نظر می‌رسد موجب بهبود حافظه کاری می‌شود. تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای قسمت پیش‌پیشانی مغز موجب می‌شود که یک جریان مستقیم و ضعیفی به مناطق قشری مختلف با توجه به هدف پژوهش وارد شود و از این طریق فعالیت مربوط به حرکت مورد نظر را از نظر عصبی تسهیل یا بازداری می‌کند (بروننی و همکاران، ۲۰۱۲). به‌دنبال اعمال تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای و تعدیل برانگیختگی قشری، پتانسیل‌های برانگیخته حرکتی در ناحیه‌ی تحت الکتروند آند تسهیل شده و شکل‌پذیری قشری در ارتباط با بهبود اجرای حرکتی صورت می‌گیرد (استگ و نیچه، ۲۰۱۱)؛ بنابراین این تسهیل باعث بهبود زمان واکنش گروه آزمایشی نسبت به شم شد. این یافته با مالکویینی و همکاران (۲۰۱۱) در یک راستا است.

در تبیین یافته‌های بهبود زمان واکنش گروه آزمایشی، تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای سبب ایجاد تغییرات شکل‌پذیری عصبی می‌شود که ممکن است با تغییرات اتصالات عملکردی در مغز انسان مرتبط باشد (تاکای و همکاران، ۲۰۱۶). بنابراین، جریان خون مغزی ممکن است به ناحیه‌ی تقویت توزیع شده باشد. این امر

تأثیر تحریک الکتریکی فراجمعه‌ای بر توجه انتخابی در شرایط تکلیف دوگانه

نشان‌دهنده‌ی این احتمال است که هموگلوبین در ناحیه‌ای که ارتباط در آن تقویت نشده است، کاهش می‌یابد (پولانیا، پالوس، آنتال و نیچه، ۲۰۱۱). همچنین مغز ممکن است مستقیماً قطر رگ‌های خونی را تغییر دهد. تغییرات سریع خود به خودی حاصل از تغییرات غشای استراحت سلول عصبی به‌عنوان مبنای تحریک الکتریکی مستقیم فراجمعه‌ای تصور می‌شود (بیکسون، اینو، آکیاما، دینس، فوکس و مییاکاوا، ۲۰۰۴). یک عمل آستروسیتی^۱ که با انتقال‌دهنده‌های عصبی و یون‌های خارج سلولی هماهنگ می‌شود، ممکن است در این تغییر پتانسیل غشای استراحت سلول عصبی شرکت داشته باشد (تاکای و همکاران، ۲۰۱۶). روهون و کارهو (۲۰۱۲) اظهار داشتند که محاسبات نظری نشان‌دهنده‌ی آن است که تحریک الکتریکی مستقیم فراجمعه‌ای می‌تواند بر پتانسیل غشای سلول‌های گلیال و در نتیجه تعادل انتقال‌دهنده‌های عصبی تأثیرگذار باشد. این تغییر شبیه آنچه است که به‌طور فیزیولوژیکی در آستروسیت‌ها حین فعال‌سازی سلول‌های عصبی مشاهده می‌شود. تحریک الکتریکی فراجمعه‌ای قشر پیش‌پیشانی مغز یک روشن‌ایمن و بدون عوارض جانبی برای بهبود سرعت پردازش اطلاعات است. همچنین با توجه به اینکه تحریک الکتریکی قشر پیش‌پیشانی ظرفیت پردازش اطلاعات را افزایش می‌دهد توصیه می‌شود که از این روش جهت بالا بردن ظرفیت شناختی اشخاص استفاده شود، به ویژه که ما اغلب در فعالیت‌های روزمره چندین تکلیف را به‌طور هم‌زمان انجام می‌دهیم. حتی در صورتی که با تقسیم توجه در امور روزمره مشکل نداشته باشید تحریک الکتریکی با کاهش در ظرفیت‌های شناختی جهت پردازش دو تکلیف می‌تواند در خودکار شدن پردازش تکلیف دوگانه کمک کند.

^۱- astrocytic

References

- Alboghbish, S., Shetab Boushehri, N., Afkham, D., & Abedanzadeh, R. (2017). R. Assessment of Reaction Time in Congruent and Incongruent Dual Task Stroop Effect in the Elderly. *Qom University Medicine Science Journal*, 11(7):66-74. (in Persian)
- Arkan, A., & Yaryari, F. (2014). The Effect of Transcranial Direct Current Stimulation (TDCS) on the Working Memory in Healthy People. *Journal of Cognitive Psychology*, (2) 2: 11-17. (in Persian).
- Besharat, M. Rostami, R. Karimi, M., & Farahani, H. (2015). The effectiveness of an augmented tDCS and ABMT on reducing food craving in obese individuals. *Applied Psychological Research Quarterly*, 6(3),19-37. (in Persian).
- Bikson, M., Inoue, M., Akiyama, H., Deans, J.K., Fox, J.E., & Miyakawa, H. (2004) Effects of uniform extracellular DC electric fields on excitability in rat hippocampal slices in vitro. *Journal of Physiology*. 557(1):175-190
- Brunoni, A. R., Nitsche, M. A., Bolognini, N., Bikson, M., Wagner, T., Merabet, L., & et al. (2012). Clinical research with transcranial direct current stimulation (tDCS): challenges and future directions. *Brain Stimulation*, 5(3), 175-195.
- DaSilva, A. F., Volz, M. S., Bikson, M., & Fregni, F. (2011). Electrode positioning and montage in transcranial direct current stimulation. *Journal of Visualized Experiments*, (51), e2744-e2744.
- Depue, B. E., Burgess, G. C., Willcutt, E. G., Ruzic, L., & Banich, M. T. (2010). Inhibitory control of memory retrieval and motor processing associated with the right lateral prefrontal cortex: evidence from deficits in individuals with ADHD. *Neuropsychologia*, 48(13), 3909-3917.
- Dick, D. M., Smith, G., Olausson, P., Mitchell, S. H., Leeman, R. F., O'Malley, S. S., & et al. (2010). Review: understanding the construct of impulsivity and its relationship to alcohol use disorders. *Addiction Biology*, 15(2), 217-226.
- Fagot, C., & Pashler, H. (1992). Making Two Responses to a Single Object: Implications for the Central Attentional Bottleneck. *Journal of Experimental Psychology*, 0096-1523/92/\$3.00.
- Fahimi, F. Arjmandnia, A., & Fathabadi, J. (2014). Investigating Efficacy of "Working Memory Training Software on Students Working Memory. *Applied Psychological Research Quarterly*. 5(2), 65-80. (in Persian).
- Fischer, R., & Plessow, F. (2015). Efficient multitasking: parallel versus serial processing of multiple tasks. *Frontiers in Psychology*. 6, Article 1366.
- Gold, J., & Shadlen, M. (2007). The neural basis of decision making. *Annual Review Neuroscience*. 30, 535-574.
- Hassanzadeh, S & Ahmadi, A. (2015). Meta-Analysis of Working Memory Training and its Generalization Effect. *Psychological Research Quarterly*. 6(1), 25-46. (in Persian).

- Hsu, W. Y., Zanto, T. P., Anguera, J. A., Lin, Y. Y., & Gazzaley, A. (2015). Delayed enhancement of multitasking performance: effects of anodal transcranial direct current stimulation on the prefrontal cortex. *Cortex*, 69, 175-185.
- Kapoula, T., Bonnet, A., Bourtoire, P., Demule, E., Fauvel, C., Quilicci, C., & et al. (2010). Poor Stroop performances in 15-year-old dyslexic teenagers. *Experimental Brain Research*, 203:419-425.
- Logan, G. D. & Gordon, R. D. (2001). Executive control of visual attention in dual-task situations. *Psychological Review*, 108(2), 393.
- Logothetis, N. K. (2008). What we can do and what we cannot do with fMRI. *Nature*, 453(7197), 869.
- Nitsche, M. A., & Paulus, W. (2001). Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation. *Journal of Physiology*. 527:633-639.
- Nitsche, M. A., Seeber, A., Frommann, K., Klein, C. C., Rochford, C., Nitsche, M. S., & et al. (2005). Modulating parameters of excitability during and after transcranial direct current stimulation of the human motor cortex. *Journal of Physiology*. 568, 291-303.
- Overtoom, C. C., Kenemans, J. L., Verbaten, M. N., Kemner, C., van der Molen, M. W., van Engeland, H., & et al. (2002). Inhibition in children with attention-deficit/hyperactivity disorder: a psychophysiological study of the stop task. *Biological psychiatry*, 51(8), 668-676.
- Polanía, R., Paulus, W., Antal, A., & Nitsche, M. A. (2011). Introducing graph theory to track for neuroplastic alterations in the resting human brain: a transcranial direct current stimulation study. *Neuroimage*, 54(3), 2287-2296.
- Rostami, R., Besharat, M.A., Karimi, M., & Farahani, H. (2016). The effectiveness of transcranial Direct Current Stimulation on the brain function of obese individuals. *Applied Psychological Research Quarterly*, 7(3), 127-145.
- Ruohonen, J., & Karhu, J. (2012). tDCS possibly stimulates glial cells. *Clin Neurophysiol*. 123(10):2006-2009.
- Shahabi, R. (2016). Designing and developing a Comprehensive Scale of Cognitive and Psychomotor Abilities for Children. *Psychological Research Quarterly*. 7(3),71-101. (in Persian)
- Soltaninejad, Z., Nejati, V., & Ekhtiari, H. (2015). Effect of transcranial Direct Current Stimulation on Remediation of Inhibitory Control on right Inferio Frontal Gyrus in Attention Deficit and Hyperactivity Symptoms. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 3(4): 1-9. (in Persian)
- Soutschek, A., Taylor, P. C., & Schubert, T. (2016). The role of the dorsal medial frontal cortex in central processing limitation: a transcranial magnetic stimulation study. *Experimental brain research*, 234(9), 2447-2455.

- Strobach, T., & Antonenko, D. (2017). tDCS-induced effects on executive functioning and their cognitive mechanisms: a review. *Journal of Cognitive Enhancement*, 1(1), 49-64.
- Strobach, T., Soutschek, A., Antonenko, D., Flöel, A., & Schubert, T. (2015). Modulation of executive control in dual tasks with transcranial direct current stimulation (tDCS). *Neuropsychologia*, 68, 8-20.
- Strobach, T., Schütz, A. & Schubert, T. (2015). On the importance of Task 1 and error performance measures in PRP dual-task studies. *Frontiers in Psychology. Mini Review*. Volume 6, Article 403.
- Takai, H., Tsubaki, A., Sugawara, K., Miyaguchi, S., Oyanagi, K., Matsumoto, T., & et al. (2016). Effect of Transcranial Direct Current Stimulation over the Primary Motor Cortex on Cerebral Blood Flow: A Time Course Study Using Near-infrared Spectroscopy. *Oxygen Transport to Tissue XXXVII*. (4-42) 335-341.
- Utz K. s, Dimova V, Oppenlander 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.
- Vaidya, C. J., Austin, G., Kirkorian, G., Ridlehuber, H. W., Desmond, J. E., Glover, G. H., & et al. (1998). Selective effects of methylphenidate in attention deficit hyperactivity disorder: a functional magnetic resonance study. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(24), 14494-14499.
- Zylberberg, A. Ouellette, B. Sigman, M., & Roelfsema, R. (2012). Decision Making during the Psychological Refractory Period. *Current Biology*. 22, 1795–1799.