Journal of Military Medicine
2023, Volume 25, Issue 2
Pages: 1774-1786
10.30491/JMM.0621.1001208

Effect of Dorsolateral Prefrontal Cortex (DLPFC) Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) on Visual Search and Attention Functions of Aeronaut

Sadegh Pourali Fatideh [1*], Seyed Morteza Hosseini [2], Amin Amini [3], Mohammad Vaezmousavi [4], Hossein Shirvani [5]

[1] *Instructor of Sports Science, Faculty of Jihadi Training, Imam Hossein University, Teheran, Iran*
[2] *Medicine, Quran and Hadith Research Center, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran*
[3] *Faculty of Artificial Intelligence and Cognitive Sciences, Imam Hossein University, Teheran, Iran*
[4] *Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Imam Hossein University, Tehran, Iran*
[5] *Exercise Physiology Research Center, Life Style Institute, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran*

Received: 17 December 2022 **Accepted:** 17 May 2023

Abstract

Background and Aim: This study aimed to investigate the performance of visual search and attention functions of aeronauts based on transcranial direct current stimulation (tDCS).

Methods: This study was a non-randomized, semi-experimental, with a single-blind crossover design. The statistical population of the study was military aviators of a training center in Tehran in 2022. Twelve aeronauts (mean age 37.53 ± 4.82) were selected by purposive sampling method and were examined in three rounds under extracranial electrical stimulation with an interval of two days for each stimulation. measurement tools included continuous performance tests and Concentration Attention Test.

Results: The results of testing the hypotheses using analysis of covariance showed that direct electrical stimulation of the brain has a significant effect on reducing the visual search response time and increasing the correct visual search response ($P \leq 0.5$). Also, direct electrical stimulation of the brain had a significant effect on reducing the response time of tinnitus and the correct response of tinnitus by aerobic trainers. Also, the study of the difference in stimulation position showed that Anodal stimulation is more effective than other stimulation positions ($P \leq 0.05$).

Conclusion: It seems that transcranial electrical stimulation of the brain can be used to maintain concentration and manage the attention of the aeronaut (that is, they have awareness and control at any moment and their attention is best directed to the signals related to the goal).

Keywords: Cognition, Attention, Tracing Technique, Air Movements.

[*]Corresponding author: **Sadegh Pourali Fatideh,** Email: sadeq.p.f@gmail.com

مجله طب نظامی
دوره ۲۵، شماره ۲، خرداد و تیر ۱۴۰۲
صفحات: ۱۷۸۶-۱۷۷۴
10.30491/JMM.0621.1001208

تاثیر تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای (tDCS) قشر پیش‌پیشانی جانبی خلفی (DLPFC) بر جستجوی بینایی و کارکردهای توجهی هوانوردان

صادق پورعلی فتیده[1*]، سیدمرتضی حسینی[2]، امین امینی[3]، سید محمدکاظم واعظ موسوی[4]، حسین شیروانی[5]

[1] *دانشکده تربیت جهادی، دانشگاه امام حسین (ع)، تهران، ایران*
[2] *مرکز تحقیقات طب، قرآن و حدیث، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج)، تهران، ایران*
[3] *دانشکده و پژوهشکده هوش مصنوعی و علوم شناختی، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران*
[4] *گروه علوم ورزشی، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران*
[5] *مرکز تحقیقات فیزیولوژی ورزش، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج)، تهران، ایران*

چکیده

زمینه و هدف: یکی از عوامل مؤثر در موفقیت هوانوردان، میزان توانایی توجه و قابلیت جستجوی بینایی است. پژوهش حاضر با هدف بررسی عملکرد جستجوی بینایی و کارکردهای توجهی هوانوردان بر پایه مداخله تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای انجام شد.

روش‌ها: پژوهش از نوع کارآزمایی بالینی غیر تصادفی، نیمه آزمایشی با طرح متقاطع تک‌سوکور بود. جامعه آماری پژوهش، هوانوردان نظامی یک مرکز آموزشی شهر تهران در سال ۱۴۰۱ بودند. از جامعه آماری تعداد ۱۲ نفر (با میانگین سنی ۴/۸۲ ± ۳۷/۵۳) به روش نمونه‌گیری هدفمند انتخاب و در سه نوبت تحت تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای با فاصله زمانی دو روز برای هر تحریک مورد بررسی قرار گرفتند. پروتکل شامل یک جلسه تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای در حالت‌های تحریک آنودال، کاتدال و شم بود. ابزار پژوهش شامل آزمون عملکرد پیوسته و آزمون دقت متمرکز و پراکنده بود.

یافته‌ها: نتایج بررسی فرضیه‌ها با استفاده از آزمون تحلیل واریانس اندازه‌گیری مکرر نشان داد که تحریک الکتریکی مستقیم مغز در کاهش زمان واکنش جستجوی بینایی و افزایش پاسخ صحیح جستجوی بینایی تاثیر معنادار دارد ($P \leq ۰/۵$). همچنین، تحریک الکتریکی مستقیم مغز در کاهش زمان واکنش گوش بزنگی و پاسخ صحیح گوش‌بزنگی هوانوردان تاثیر معنادار داشت. همچنین بررسی تفاوت موقعیت تحریک انجام‌شده نشان داد که تحریک آندی نسبت به سایر موقعیت‌های تحریکی اثربخشی بیشتری دارد ($P \leq ۰/۰۵$) و باعث کاهش زمان واکنش جستجوی بینایی و افزایش پاسخ صحیح جستجوی بینایی هوانوردان شده است.

نتیجه‌گیری: به نظر می‌رسد می‌توان که برای حفظ تمرکز و مدیریت توجه هوانوردان (یعنی در هرلحظه آگاهی و کنترل داشته باشند و توجه آن‌ها به بهترین شکل به سیگنال‌های مرتبط با هدف معطوف شود) می‌توان از تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز استفاده نمود.

کلیدواژه‌ها: شناخت، توجه، تکنیک ردیابی، حرکات هوایی.

*نویسنده مسئول: **صادق پورعلی فتیده.** پست الکترونیک: sadeq.p.f@gmail.com
دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۹/۲۶ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۲/۲۷

مقدمه

بهینه‌سازی عملکرد انسانی (Human performance optimization) در بسیاری از مهارت‌ها همچون هوانوردی و ورزش‌های هوایی، همواره مورد توجه محققانِ علوم رفتاری و شناختی قرار گرفته است. فعالیت‌هایی چون پاراگلایدر، چتر بازی، سقوط آزاد، وینگ سویت، پاراموتور، کایت، جایروپلن و خلبانی سبک، همگی نیازمند سطح بالایی از مهارت‌های توجهی و بینایی هستند (۱). سیستم بینایی و توجه غنی‌ترین منبع اطلاعات را در مورد محیطی که در آن زندگی می‌کنیم فراهم می‌کند (۲). مطالعه عملکرد توجه و بینایی در اجرای مأموریت‌های پیچیده هوایی از دو جنبه نظری و عملی مهم است، از جنبه نظری به دلیل اینکه در طول اجرای مهارت‌های ادراکی- حرکتی اطلاعات درباره جستجوی بینایی (Visual search)، استراتژی اکتساب اطلاعات از محیط را مشخص می‌کند (۳). از جنبه عملی با تعیین اثربخش‌ترین کارکردهای توجهی افراد ماهر، محیط‌های بینایی در اجرای مهارت‌های ادراکی- حرکتی خاص بهتر کشف می‌شود و می‌تواند برای آموزش مبتدیان مفید باشد (۴).

در این میان مغز مرکز دریافت حواس محیطی- مرکزی برای تحلیل و تصمیم‌گیری انسان است، ولی حجم اطلاعاتی که در هر لحظه به مغز می‌رسد چنان بالاست، که در عمل اگر قرار بود تمام آن داده‌ها پردازش شود، عملکرد مغز مختل می‌شد و به دنبال آن عملکرد انسان نیز کاهش می‌یافت؛ بنابراین برای جلوگیری از این موضوع، قدرت و توانایی تخصیص تمرکز لازم است. منظور از تمرکز وضعیتی است که در آن شخص توجه خود را بر روی موضوع خاصی معطوف می‌کند (۵). از طرفی؛ توجه، مفهومی گسترده و چند لایه است؛ کارکردی در ظاهر واضح و ساده و در پژوهش علمی، پیچیده که امروزه با تمام پیشرفت‌ها تنها اندکی به ماهیت آن نزدیک شده‌ایم. به طور ساده می‌توان توجه را انتخاب، یافتن و تمرکز روی یک محرک داخلی یا خارجی تعریف کرد (۶).

مفهوم توجه به طور سنتی با نظریه منابع و ایده اصلی آن، یعنی محدود بودن ظرفیت موجود زنده برای پردازش اطلاعات، ارتباط دارد (۷). از این‌رو، اطلاعاتی انتخاب و پردازش می‌شوند که مورد توجه قرار گیرند، در حالی که درون دادهایی که مورد توجه قرار نگرفته‌اند از حیطه آگاهی خارج می‌شوند. توجه انتخابی (متمرکز)، به فرایند تمرکز منابع بر جنبه‌های خاصی از همه درون‌دادها اشاره دارد (۸). توجه را می‌توان در سه سطح شناسایی موقعیت، فیلتر کردن و جستجو کردن مورد بررسی قرار داد. همچنین چهار کارکرد مهم قابل بررسی در توجه عبارتند از جستجو، ردیابی یا گوش به زنگی، توجه انتخابی و توجه توزیع شده (۸). در فرایند جستجو، پیگیری فعالانه و اغلب ماهرانه مورد نظر می‌باشد. یعنی به صورت فعال در جستجوی چیزی باشد، در حالی که مطمئن نیستید در کجا پدیدار خواهد گشت. در مورد جستجو، اگر درحالی‌که محرک خاصی را جستجو می‌کنید با محرک‌های مزاحم روبه‌رو شوید، معمولاً هشدارهای کاذب پدید می‌آیند (۹).

یکی از عوامل مؤثر در موفقیت هوانوردان در امر آموزش، میزان توانایی توجه آن‌ها به عملکرد و نکات برجسته آموزشی و تجهیزاتی و قابلیت جستجوی بینایی در آن‌هاست. توجه را می‌توان به‌طور ارادی و با اختیار به موضوعی معطوف و یا از آن سلب کرد، اما نه به این سادگی که همه در اختیار و کنترل قرار گیرد. تلاش کردن برای حفظ توجه روی موضوعی خاص به عوامل بسیاری نظیر علاقه‌مندی، انگیزش، تمرین برای حفظ تمرکز و مدیریت توجه (یعنی در هر لحظه آگاهی و کنترل داشته باشیم که توجه ما از چه چیزی به چه چیز دیگری معطوف شده است) بستگی دارد (۱۰). هوانوردان باید بتوانند تصمیمات سریع و دقیق اتخاذ کنند، به این دلیل که اولین اشتباه کارآموز ممکن است آخرین اشتباه او باشد. در بسیاری از این موقعیت‌ها این افراد باید بتوانند به طور همزمان چند تکلیف را انجام دهند تا عملکرد مناسبی داشته باشند (۱). این افراد باید تصمیمات را در حالتی اتخاذ کنند که اطلاعات و محرک‌های متفاوتی در طول موقعیت دریافت می‌کنند. موقعیت‌ها عمدتاً رویدادهایی چندگانه هستند که ممکن است برای مدتی طولانی رخ دهند. هوانوردان باید قادر باشند این موقعیت‌ها را نظارت کنند (۱۱). از این‌رو بهینه‌سازی توانمندی‌های توجهی هوانوردان اهمیت خاصی دارد.

یکی از تکنیک‌های مداخله شناختی و بهینه‌سازی عملکرد، استفاده از تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای (Transcranial Direct Current Stimulation: tDCS) است. تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای به روشی غیرتهاجمی جهت تحریک مغز اطلاق می‌شود که بر اساس القای الکتریکی توسط یک کلاف (Coil) عایق صورت می‌گیرد. این کلاف روی اسکالپ (پوست سر) و در نقطه‌ای منطبق‌بر ناحیه‌ای از مغز که در ایجاد علائم روانی و عصبی دخیل هستند قرار می‌گیرد. هر پالس الکتریکی به سهولت و بدون درد، از پوست سر و استخوان و پرده‌های مغز گذشته و به نورون‌های عصبی می‌رسد و باعث فعالیت کوتاه مدت نورون‌های عصبی مربوطه می‌گردد. طبق مطالعات متعددی که درمورد کاربرد تحریک الکتریکی فرا جمجمه‌ای مغز در زمینه بهینه‌سازی عملکرد افراد خبره انجام شده، این نکته مطرح شده است که تحریک الکتریکی مغز، می‌تواند موجبات بهبود سرعت عمل و همچنین بهتر شدن حافظه کاری شود (۱۲)، همچنین بسیاری از محققین نشان داده‌اند که تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای باعث افزایش یادگیری حرکتی، عملکرد حرکتی، مقاومت در برابر خستگی عضلات هدف و زمان عکس‌العمل یا قدرت عضلانی می‌شود (۱۳).

Davis و Smith (۱۴)، در فراتحلیلی نشان دادند که تحریک الکتریکی فرا جمجمه‌ای پتانسیل منحصر به فردی را برای بهبود مستقیم توانایی انسان به صورت موقت و بر اساس نیاز فراهم می‌کند. Stone و Tesche (۱۵) نیز دریافتند که تحریک آنودال

و کاتدال در قشر آهیانه‌ای خلفی سمت چپ مانع تغییر توجه بین محرک‌ها می‌شود. از سوی دیگر، Moos و همکاران (۱۶) نشان دادند که تحریک الکتریکی فرا جمجمه‌ای مغز کاتدی اعمال شده بر روی قشر آهیانه‌ای خلفی راست منجر به بهبود انتخاب توجه شده است. Roe و همکاران (۱۷) نیز در پژوهشی اثرات تحریک الکتریکی فرا جمجمه‌ای را بر توجه بصری پایدار به بار شناختی مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه دقت عملکرد شرکت‌کنندگان در یک تکلیف ردیابی چند جسم دو جانبه ثبت شد، در حالی که تحت تحریک دو طرفه قرار گرفتند تا تحریک‌پذیری عصبی (آنودال) و کاهش (کاتدالی) را اعمال کنند. تحریک به قشر آهیانه‌ای خلفی اعمال شد، منطقه‌ای که در مرکز یک شبکه ردیابی توجه قرار دارد که فعالسازی وابسته به بار را نشان می‌دهد. ۳۴ شرکت‌کننده در سه روز تحت سه شرایط تحریک جداگانه قرار گرفتند. نتایج آن‌ها نشان داد که عملکرد ردیابی در بارهای توجهی بالا در هر دو شرایط تحریک نسبت به حالت شم کاهش چشم‌گیری داشت و این نتایج بدون توجه به جهت قطب بر نیمکره‌های مغز، در هر دو زمینه بینایی مشهود بود.

علاوه بر این، در خصوص افزایش متغیرهایی که باید به آن‌ها توجه کرد، Weiss و Lavidor (۱۸) در پژوهشی دریافتند که تحریک کاتدال بر روی قشر آهیانه‌ای خلفی باعث افزایش پردازش (نشانه‌های جانبی) می‌شود و احتمالاً با افزایش منابع توجهی موجود که برای بهبود عملکرد مورد استفاده قرار گیرد، مؤثر است. علاوه بر این؛ نشان دادند که، تحریک آندال روی قشر پیش پیشانی پشتی منجر به بهبود عملکرد حافظه کاری فضایی تنها در شرایط تداخل فعالیت حرکتی همراه با فراخوانی حافظه یعنی تقاضای شناختی بالا شده است. همچنین درخصوص تعامل پیشنهادی بین تحریک الکتریکی فرا جمجمه‌ای و بار شناختی، مطالعه انجام شده توسط Antal و همکاران (۱۹) نشان داد که تحریک کاتدی منطقه حرکت انسان (MT) باعث کاهش درک حرکت در طول یک تکلیف ادراکی با تقاضای کم می‌شود، اما عملکرد را در طول مجموعه حرکتی پیچیده می‌کند. تکالیفی که پرت شدن حواس را شامل می‌شود. در پژوهشی دیگر، Dockery و همکاران (۲۰) تأثیر استفاده از تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای را بر عملکرد برنامه‌ریزی ۲۴ شرکت‌کننده سالم، در قشر جلویی چپ پشتی بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که هر دو نوع تحریک آنودال و کاتدال tDCS می‌توانند عملکرد برنامه‌ریزی را که توسط آزمون برج لندن ارزیابی شده است، بهبود بخشند. Heinze و همکاران (۲۱) در پژوهشی با استفاده از تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای و ردیابی همزمان حرکات چشم به بررسی عملکرد برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری شرکت‌کنندگان پرداختند. نتایج آن‌ها نشان از تأثیر معنادار تحریک کاتدال چپ و آندال راست بود. تجزیه و تحلیل حرکت چشم نیز نشان داد که این اثر تسهیل‌کننده تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای با مرحله برنامه‌ریزی مرتبط است. سرانجام، Harbison و همکاران (۲۲) در مطالعه دیگر تلاش کردند تا اثرات تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای را با استفاده از آزمون حافظه فعال n-back بررسی کنند، هرچند تصور نمی‌شد که نتایج به دست آمده مربوط به تعامل بار شناختی و تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای باشد، اما با توجه به تفاوت در استراتژی‌های پردازش بین شرایط اضافه‌بار توانستند احتمال اثربخشی تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای را تأیید کنند.

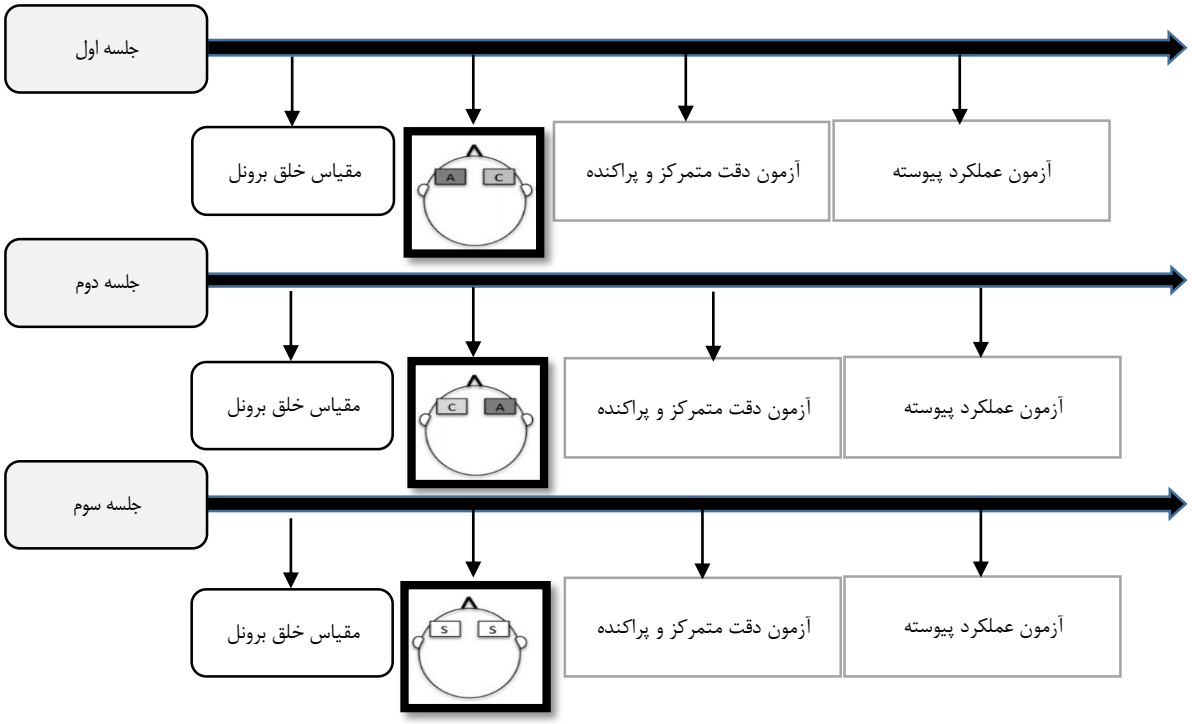
امینی و واعظ‌موسوی (۱۲) نیز در فراتحلیلی به بررسی تأثیر تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای بر بهینه‌سازی عملکرد انسان پرداختند. مداخلات tDCS در نواحی مختلفی از مغز جهت بهبود عملکرد پیشنهاد شده است که یکی از این نواحی قشر پیش‌پیشانی پشتی (DLPFC) بود. به عقیده این محققان از آنجایی که عملکرد اصلی قشر پیش‌پیشانی پشتی کنترل شناختی رفتار است و به‌نظر می‌رسد نقش مهمی در پردازش نشانه‌های داخلی و خارجی مربوط به تمرین انجام شده را داشته باشد، بنابراین، استفاده از tDCS در قشر پیش‌پیشانی پشتی می‌تواند توانایی این منطقه را برای نادیده گرفتن نشانه‌های غیر ضروری (مانند سیگنال‌های بدن) تقویت کند و محرک ارادی را در M1 نگه دارد. همچنین اثرات مفید تحریک الکتریکی بر روی قشر پیش پیشانی پشتی- جانبی سمت چپ بر روی حافظهٔ کاری، پردازش اطلاعات، تمرکز و توجه، پردازش هیجانی و حل مسئله گزارش شده است (۲۳).

باتوجه به مطالعات بررسی شده مشخص است که تناقضاتی در انتخاب پروتکل مداخله و اثربخشی احتمالی وجود دارد؛ همچنین علی‌رغم موارد مذکور، نکته قابل تأمل این است که باتوجه به ویژگی‌های منحصربه فرد هوانوردی، چگونه و بر اساس چه پروتکلی می‌توان مداخله تکنیک غیر تهاجمی تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز را برای آموزش و بهینه‌سازی هوانوردان مورد استفاده قرار داد.

از آنجایی که پی‌بردن به روشی که بتواند اثر بخشی مناسبی بر عملکرد توجهی هوانوردان داشته باشند و شاخص‌های عملکرد شناختی آن‌ها را بهبود بخشد، در اولویت برنامه‌های آموزشی و توانمندسازی هوانوردان قرار دارد. حال باتوجه به کاربردهای مداخلات شناختی از نوع تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای و همچنین اهمیت کارکردهای شناختی در عملکرد هوانوردان، این سؤال مطرح است که آیا تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای قشر پیش‌پیشانی جانبی خلفی بر جستجوی بینایی و کارکردهای توجه هوانوردان تأثیر دارد؟

روش‌ها

پژوهش حاضر از نوع کارآزمایی بالینی غیرتصادفی، نیمه آزمایشی همراه باحالت شم (Sham) درون شرکت‌کننده (Within-subject) با طرح متقاطع تک‌سوکور بود. ترتیب اجرای فعالیت‌ها توسط شرکت‌کنندگان به صورت توازن متقابل (Counter balance) انجام گرفت؛ بدین معنی که برای حذف



شکل ۱. دیاگرام اجرای پژوهش

اثر یادگیری و افزایش اعتبار داخلی پژوهش ترتیب اجرای سه جلسه مداخله بر روی شرکت‌کنندگان به شکلی بود که در هر جلسه یک سوم از شرکت‌کنندگان براساس لیست تهیه شده به‌طور تصادفی تحریک آندال سمت چپ، یک سوم دیگر تحریک کاتدال سمت چپ، و یک سوم نیز حالت شم را دریافت نمودند و شرایط در جلسات بعدی تغییر می‌کرد تا اینکه همه شرکت‌کنندگان همه انواع تحریک‌های آندال سمت چپ، کاتدال سمت چپ، و شم را دریافت نمودند. برای جلوگیری از اثرات انتقال تحریک بین جلسات (Carry-over effects)، شرکت‌کنندگان در سه روز مختلف، با فاصله زمانی حداقل ۴۸ ساعت یا بیشتر در جلسات مداخله شرکت داشتند (۲۴)، این مدت با توجه به دستورالعمل‌های حذف آثار ماندگاری تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مناسب بود (۲۵). شکل ۱، دیاگرام اجرای مطالعه را نشان می‌دهد.

جامعه و نمونه آماری

جامعه آماری پژوهش، هوانوردان نظامی یک مرکز آموزشی شهر تهران در سال ۱۴۰۱ بودند. به‌منظور گردآوری اطلاعات بعد از کسب مجوزهای لازم اقدام به انتخاب نمونه آماری شد. حجم نمونه مبتنی بر تحقیقات مشابه قبلی (۱۹،۲۶،۲۷،۲۹) و همچنین بر اساس نرم‌افزار G-power با اندازه اثر ۰/۵ = $f2$ و توان آماری ۰/۹۵ و سطح معنی‌داری یا آلفای ۹ صدم به تعداد ۱۲ نفر (در دامنهٔ سنی ۲۵ تا ۴۵ سال) مشخص شد. روش نمونه‌گیری این پژوهش هدفمند بود. براین‌اساس ابتدا فرم‌هایی جهت اعلام شرکت داوطلبانه بین جامعه‌آماری پخش و بعد از موافقت افراد و تعیین شاخص‌های ورود به مطالعه، اعضای نمونه انتخاب شدند. آنان از شاخص‌های ورود به مطالعه شامل، برخورداری از آمادگی جسمی و روانی و دارا بودن حداقل دو سال سابقه فعالیت حرفه‌ای هوانوردی و اجتناب از مصرف ارگوژنیک یا محرک‌ها (مانند کافئین) و همچنین انجام فعالیت ورزشی شدید در ۴۸ ساعت قبل از هر جلسه مداخله برخوردار بودند و به‌طور داوطلبانه و هدفمند در این مطالعه شرکت نمودند. معیار خروج از مطالعه نیز عبارت بود از غیبت در جلسه مداخله، تغییر محل خدمت، به طوری که از جمعیت تحت پوشش مطالعه خارج شوند. به خاطر محدود کردن تفاوت‌های مربوط به جنس (۳۳) تنها مردان در این مطالعه حضور داشتند (۲۸). به شرکت‌کنندگان اطلاع داده شد که الگوهای رژیم غذایی معمول خود را در طول دوره حفظ کنند. همچنین، با ارزیابی روان‌پزشک شرکت‌کنندگان هیچ‌گونه اختلال یا بیماری روانی یا شناختی نداشتند. به‌علاوه شرکت‌کنندگان نباید هیچ‌گونه دارویی را مصرف می‌کردند که احتمالاً مداخله را تحت تأثیر قرار دهد. شرکت‌کنندگان هیچ‌گونه پلیت یا شئ فلزی در سرِ خود نداشتند (۲۹).

ابزار سنجش

در این مطالعه آزمون‌های مقیاس خلق برونل برای ارزیابی اولیه و آزمون‌های دقت متمرکز و پراکنده و عملکرد پیوسته مورد استفاده قرار گرفت.

مقیاس خلق برونل (Brounel Mood Scale): این مقیاس که جهت اطمینان از وضعیت آمادگی روانی شرکت‌کنندگان اجرا شد، توسط Terry و همکاران (۳۰) ساخته شده است. این مقیاس پنج ارزشی لیکرت از دامنه اصلاً (صفر) تا بسیار زیاد (۴) شامل ۲۴ سؤال در شش مقیاس (سردرگمی، خشم، افسردگی،

خستگی، تنش و سرزندگی) ذکر شده است. هر زیر مقیاس شامل چهار مورد است. هنگامی که پاسخ‌های چهار مورد در هر خرده مقیاس جمع می‌شود، نمره زیر مقیاس در محدوده ۰-۱۶ به دست می‌آید. موارد موجود در هر خرده مقیاس عبارتند از: سردرگمی: گیج، درهم، مَنگ، مبهوت (موارد ۳، ۹، ۱۷، ۲۴)؛ خشم: آزرده، تلخ، عصبانی، بد اخلاق (موارد ۷، ۱۱، ۱۹، ۲۲)؛ افسردگی: افسرده، ناراحت، ناراضی، احساس بدبختی (موارد ۵، ۶، ۱۲، ۱۶)؛ خستگی: فرسوده، خسته، خواب آلوده (موارد ۴، ۸، ۱۰، ۲۱)؛ تنش: وحشت‌زده، مضطرب، نگران، عصبی (موارد ۱، ۱۳، ۱۴، ۱۸)؛ سرزندگی: سرزنده، پر جنب و جوش، فعال، هوشیار (موارد ۲، ۱۵، ۲۰، ۲۳). پایایی این آزمون با استفاده از آلفای کرونباخ و با همسانی درونی مساوی با (۰/۷۱۲)، توسط واعظ موسوی و حمزه به دست آمده است. ملک‌شاهی و همکاران نیز پایایی آزمون را (۰/۷۸۶) به دست آوردند (۳۲). در تحقیق حاضر پایایی این آزمون در میان ۱۰ مربی ورزش‌های هوایی که خارج از نمونه تحقیق حاضر بودند بررسی شد و آلفای کرونباخ مساوی با ۰/۷۶ به‌دست آمد که از نظر آماری قابل توجه است.

آزمون دقت متمرکز و پراکنده (Focused & Diffuse Test Attention**):** یکی از کارکردهای مهم توجه، تشخیص اشیاء و رویدادهای مهم در محیط است. بر این اساس توجه به دو نوع گزینشی (متمرکز) و توزیع شده (پراکنده) قابل تقسیم است. دقت متمرکز (Focused Attention) یک حالت ذهنی بسیار دقیق است که در آن مغز از توانایی‌های تمرکز خود در قشر جلویی برای نادیده گرفتن تمام اطلاعات اضافی استفاده می‌کند و تنها بر موضوع موردنظر تمرکز می‌کند، در حالی‌که دقت پراکنده (Diffuse Attention) زمانی اتفاق می‌افتد که اجازه دهید ذهن شما آزادانه و به طور تصادفی با محیط ارتباط برقرار کند. در حالت دقت پراکنده مغز این فرصت را دارد که نقاط را به هم متصل کرده و فرآیندهای عصبی را به هم پیوند دهد. ارزیابی این دو نوع دقت، بویژه بر حسب مشاغل حساسی چون هوانوردان از اهمیت بالایی برخودار است و در پاره‌ای موارد شاید بی‌توجهی به این موضوع از طرف هوانوردان، موجب سوانح و زیان‌های گزافی شود. این آزمون برای سنجش دقت متمرکز و پراکنده در گروه‌های سنی مختلف، بویژه ارزیابی دقت افراد داوطلب مشاغل صنعتی، نظامی و رانندگان، کاربرد دارد. اجرای این آزمون دو مرحله دارد: ابتدا مرحله آزمایش توجه متمرکز انجام می‌شود؛ به‌این‌ترتیب که دو حرف از حروف الفبا (مثال "م" و"س") روی صفحه نمایش داده می‌شود. سپس آزمایش شروع می‌شود. چنانچه حروف فوق نمایش داده شد، شرکت‌کننده باید علامت بزند و اگر حروف دیگری نمایش داده شد نباید علامت بزند. فاصله نیم ثانیه‌ای بین ارائه دو محرک و نوع حروف تغییرپذیراند. سپس آزمون توجه پراکنده اجرا می‌شود. در این مرحله دو حرف در دو سمت صفحه‌نمایش داده می‌شود. شرکت‌کننده باید با دست راست فقط به محرک سمت راست و با دست چپ فقط به محرک سمت چپ پاسخ دهد و در صورت تغییر نباید پاسخی ارائه دهد. پاسخ دادن در این حالت خطابه شمار می‌رود. برای بررسی پایایی نرم‌افزار آزمون توجه متمرکز و پراکنده، ضریب همبستگی بین پیش‌آزمون و پس‌آزمون گروه کنترل (که با فاصله یک ماه انجام شده بود) در توجه متمرکز ۰/۸۶۲ و در توجه پراکنده ۰/۹۳۳ به دست آمد. بررسی روایی بین پاسخ ناهمخوان در آزمون استروپ و توجه متمرکز در آزمون توجه متمرکز و پراکنده در ۳۰۰ شرکت‌کننده، ضریب همبستگی ۰/۳۹۰ در حد معنادار به دست داد (۳۱).

آزمون عملکرد پیوسته: آزمون عملکرد پیوسته را ابتدا روزولد و همکاران (۳۱) به منظور یافتن خطاهای توجه در بیماران دچار صرع کوچک معرفی کردند. در این نسخه وقتی حرف (X) روی صفحه ظاهر می‌شود و یا حرف دیگری در ادامه حرف هدف می‌آید (A-X) شرکت‌کنندگان باید دکمه‌ای را فشار دهند. نسخه‌های بعدی آزمون عملکرد پیوسته با نسخه اولیه از جهات زیر تفاوت داشتند: سبک آزمون: ارائه محرک‌ها به صورت دیداری یا شنیداری؛ نوع محرک: حروف، اعداد، رنگ‌ها یا اشکال هندسی؛ ماهیت تکلیف: پاسخ به محرکی واحد مثل، X پاسخ به توالی خاصی از محرک‌ها مثل A-X یا پاسخ به هر محرکی به جز یک محرک خاص؛ نوع داده‌ها: ارزیابی خطاهای حذف، خطاهای ارتکاب، فاصله ارائه محرک‌ها؛ این آزمون جهت سنجش گوش به زنگ بودن و توجه متمرکز در گروه‌های سنی مختلف به کار می‌رود و به منظورسنجش نگهداری توجه کاربرد دارد. آزمون مورد نظر در سال ۱۹۵۶ توسط رازولد ساخته شده و توسط هادیان فر و حسنی (۱۳۸۶) جهت اندازه‌گیری توجه مورد استفاده قرار گرفته است. نحوه کار در این نرم‌افزار به این شکل است که یک حرف یا یک عدد به عنوان هدف تعیین می‌شود سپس حرف مورد نظر در لابه‌لای سایر حروف به‌طور نامرتب آورده می‌شود. تعداد تشخیص درست و تعداد تشخیص غلط ملاک قرار می‌گیرد تعداد کل حروف ارائه شده ۱۵۰ مرتبه و تعداد ارائه حرف هدف ۵۶ مرتبه است. فاصله زمانی بین حروف ۰/۵ ثانیه است. همچنین مدت زمان و نوع حروف قابل تغییر است.

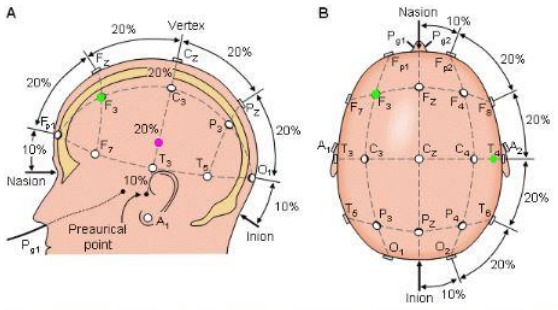
روش اجرا

شرح اجرای این مطالعه این‌گونه بود که ابتدا شرکت‌کنندگان مقیاس خلق برونل را بلافاصله قبل از تحریک الکتریکی انجام دادند. اگر افرادی خلق پایینی داشتند از ادامه فعالیت بازداشته می‌شدند. بقیهٔ افراد تحریک را دریافت کردند. در مجموع شرکت‌کنندگان سه جلسه در اجرای این طرح شرکت نمودند. یک جلسه برای دریافت تحریک‌های آندال سمت چپ، یک جلسه تحریک‌های کاتدال سمت چپ و یک جلسه تحریک‌های ساختگی و بلافاصله بعد از انجام تحریک در هر جلسه، مجموعه آزمون‌های مورد نظر را اجرا نمودند (۳۳). لازم به ذکر است که شرح اجرا و نحوه تکمیل آزمون‌های موردنظر به شرکت‌کننده داده شد، بااین‌وجود همانگونه که اشاره شد، جلسات تحریک برای هر یک از شرکت‌کنندگان به‌صورت کاملاً تصادفی انتخاب شد و هر یک از شرکت‌کنندگان

از نوع دریافت تحریک (آند، کاتد و شم) بی‌اطلاع بودند.

الکترودها، کربنی و رسانا بوده و برای جلوگیری از واکنش شیمیایی نقطه تماس بین الکترود و پوست، درون اسفنج‌های مصنوعی آغشته به سالین قرار داده شد. ابعاد الکترودها در این آزمون ۵ × ۵ سانتیمتر بود. روش اعمال تحریک به‌گونه‌ای بود که پد اسفنجی که درواقع پوشش الکترودها محسوب می‌شود به سدیم کلرید ۰۷ درصد آغشته شد و الکترودها درون آن قرار گرفت. الکترودها بر اساس مطالعات پیشین جای‌گذاری شد، بدین ترتیب که ابتدا الکترود آند بر روی منطقه مغزی DLPFC (F4) و الکترود کاتد بر روی ناحیه (F3) بر اساس سیستم بین‌المللی ۲۰-۱۰ قرار گرفت (شکل ۲) و به‌وسیله کش مخصوص بر روی سر شرکت‌کنندگان محکم شد. این فرایند در گام بعد با جابجایی محل الکترودهای آند و کاتد تغییر نمود (شکل ۱). تحریک tDCS در وضعیت آرامش انجام شد.

دستگاه تحریک الکتریکی استفاده شده در این پژوهش محصول شرکت نوروکان پلاس (Neuroconn Plus) بود. شایان‌ذکر است که جریان الکتریکی از نوع مستقیم، با شدت ۲ میلی‌آمپر و مدت اعمال ۲۰ دقیقه بود که بر اساس نتایج مطالعات پیشین بر سلامتی شرکت‌کنندگان اثر سوء ندارد. همچنین در حالت شم نیز بعد از ۳۰ ثانیه دستگاه خاموش می‌شد.



شکل ۲. نواحی F3, F4 یا ناحیهٔ قشر پیش پیشانی- جانبی (DLPFC) چپ و راست

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

داده‌ها پس از جمع‌آوری با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۶ و از طریق روش‌های آماری توصیفی (میانگین و انحراف معیار) آنالیز شدند. برای آنالیز این طرح با در نظر گرفتن اثر دوره و اثر متقابل دوره و مداخله برای متغیرهای کمی از آزمون واریانس استفاده شد. در طرح‌های متقاطع به دلیل وجود اثرهای مخدوش کننده‌ای نظیر اثر دوره و اثر انتقالی نمی‌توان از آزمون تی‌زوجی و یا تی‌مستقل استفاده کرد، لذا جهت بررسی روند تغییرات در زمان‌های مختلف مداخله از آزمون طرح اندازه‌گیری‌های مکرر جهت تجزیه و تحلیل استفاده شد. سطح معناداری آزمون‌ها $P \leq ۰/۵$ در نظر گرفته شد.

ملاحظات اخلاقی

از تمام شرکت‌کنندگان بعد از توضیح درباره پروژه و اهداف آن رضایت آگاهانه اخذ شد. کلیه اطلاعات اخذ شده از شرکت‌کنندگان محرمانه تلقی شده و بدون مشخصات شناسایی ذخیره شد و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. همچنین این مطالعه پس از کسب مجوز از کمیته اخلاق دانشگاه علوم پزشکی بقیه‌الله (عج) (IR.BMSU.BAQ.REC.1400.054) و ثبت در سایت کارآزمایی بالینی در آزمایشگاه علوم و فناوری‌های شناختی دانشگاه امام حسین (ع) اجرا شد.

نتایج

برای بررسی طبیعی بودن داده‌ها، از آزمون Shapiro-Wilk test استفاده شد. با توجه به نتایج آزمون شاپیرو ویلک، توزیع داده‌ها در متغیرهای پژوهش طبیعی بود. سپس، از آزمون لوین برای تعیین تجانس واریانس متغیرها استفاده شد که نتایج نشان داد هر دو متغیر جستجوی بینایی و کارکردهای توجه همگن هستند. میانگین سنی کلیه شرکت‌کنندگان ۴/۸۲ ± ۳۷/۵۳ سال بود؛ همچنین میانگین قد و وزن شرکت کنندگان به ترتیب ۵/۳۷ ±۳۰/۱۷۵ و ۵/۹۸ ± ۷۹/۸۴ بود.

در جدول ۱ مشخصات توصیفی شامل میانگین، انحراف معیار و خطای استانداردِ جستجوی بینایی و کارکردهای توجه در دو سطح زمان واکنش و پاسخ صحیح در سه موقعیت تحریکی آند، کاتد و ساختگی آورده شده است.

نتایج تحلیل واریانس اندازه‌گیری مکرر با برقراری مفروضه کرویت برای مؤلفه‌های جستجوی بینایی و کارکردهای توجه در جدول ۳ ارائه شده است.

نتایج پژوهش نشان داد که مقدار F محاسبه‌شده برای اثر اصلی نوع تحریک، در مؤلفه‌های زمان واکنش جستجوی بینایی، پاسخ صحیح جستجوی بینایی و همچنین زمان واکنش گوش بزنگی، پاسخ صحیح گوش بزنگی معنادار است. به‌منظور مشخص شدن جایگاه تفاوت‌ها، با استفاده از آزمون پیگردی بونفرونی به مقایسه چندگانه مؤلفه‌های جستجوی بینایی و کارکردهای توجه در سه موقعیت مداخله پرداخته شد.

همان‌طور که در جدول ۳ دیده می‌شود، بر اساس نتایج حاصل از آزمون تعقیبی، مؤلفه‌های جستجوی بینایی و کارکردهای توجه شرکت‌کنندگان در شرایط تحریک آند با کاتد و ساختگی تفاوت معناداری را نشان داد. همچنین مؤلفه‌های جستجوی بینایی در شرایط تحریک کاتد باحالت تحریک ساختگی نیز دارای تفاوت معنادار است، درحالی‌که کارکردهای توجه شرکت‌کنندگان در حالت تحریک ساختگی باحالت تحریک کاتد معنادار نشده است.

در ادامه نمودار هیستوگرام مؤلفه‌های جستجوی بینایی و توجه در سه موقعیت تحریک آند، کاتد و ساختگی آورده شده است.

جدول-۱. آمار توصیفی مربوط به روند تغییرات جستجوی بینایی و کارکردهای توجه در سه موقعیت آند، کاتد و ساختگی

متغیر	مؤلفه	نوع تحریک	میانگین	انحراف معیار	خطای استاندارد
توجه	زمان واکنش گوش بزنگی	آند	۲/۷۵۰	۰/۷۲۳	۰/۲۰۸
		کاتد	۴/۰۹۱	۰/۹۲۳	۰/۲۷۵
		ساختگی	۴/۷۹۱	۰/۸۴۶	۰/۲۴۹
	پاسخ صحیح گوش بزنگی	آند	۱۶۸/۵۱	۶/۰۶۸	۱/۷۵۱
		کاتد	۱۵۹/۰۱	۶/۲۲۳	۱/۷۹۶
		ساختگی	۱۵۱/۸۳	۶/۰۶۷	۱/۷۴۸
جستجوی بینایی	زمان واکنش جستجوی بینایی	آند	۳۴۸/۳۳	۷/۰۴	۲/۰۳۵
		کاتد	۳۶۸/۵۸	۸/۳۸	۲/۴۱۹
		ساختگی	۳۷۷/۴۱	۷/۴۸	۲/۱۶۱
	پاسخ صحیح جستجوی بینایی	آند	۱۶۸/۵۱	۶/۰۷	۱/۵۸۸
		کاتد	۱۵۹/۰۹	۶/۲۲	۱/۸۳۱
		ساختگی	۱۵۳/۸۳	۶/۰۶۴	۱/۶۳۵

جدول-۲. تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر مربوط به مؤلفه‌های جستجوی بینایی و کارکردهای توجه در سه موقعیت آند، کاتد و ساختگی

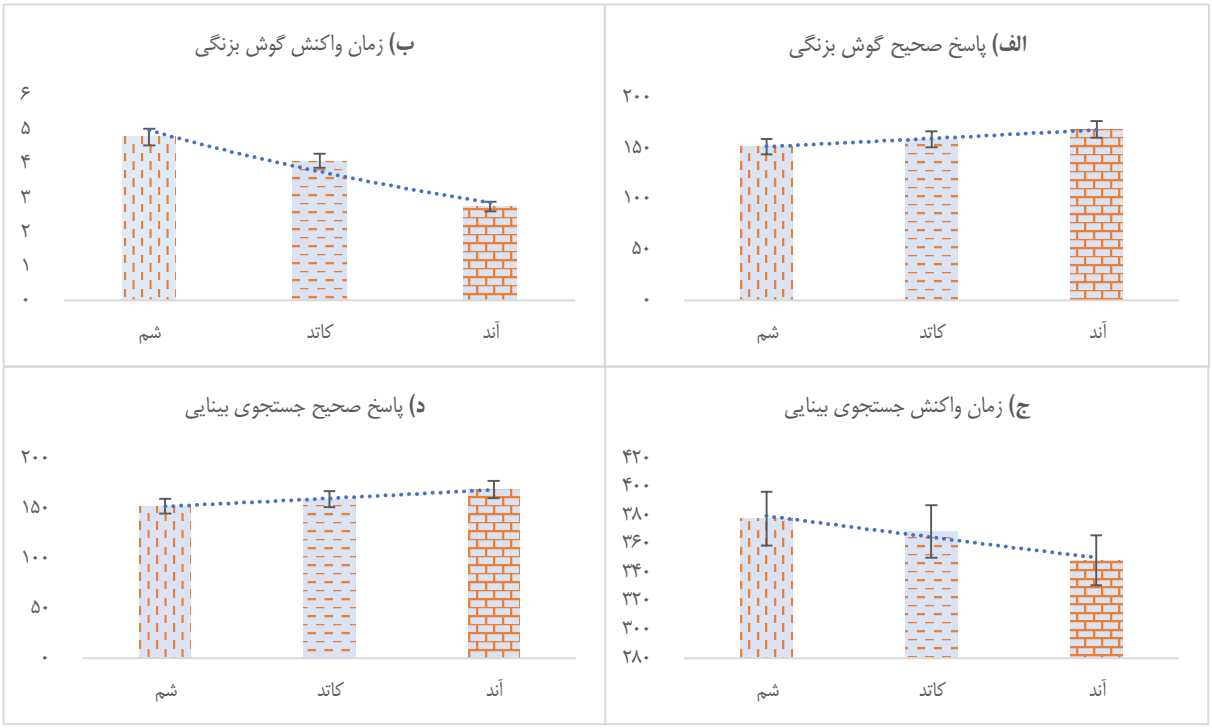
متغیر		مجموع مجذورها	df	میانگین مجذورها	F	*P*	اندازه اثر ηp_2
زمان واکنش گوش بزنگی	عامل	۵۳۳۵/۷۱	۲	۲۶۶۷/۸۶	۴۷/۰۴	۰/۰۰۱	۰/۸۱۰
	خطا	۱۲۴۷/۶۱	۲۲	۵۶/۷۷			
پاسخ صحیح گوش بزنگی	عامل	۱۶۷۷/۵۵	۲	۸۳۸/۷۹	۲۰/۰۴	۰/۰۰۱	۰/۶۴۶
	خطا	۹۲۰/۴۴	۲۲	۴۱/۸۳			
زمان واکنش جستجوی بینایی	عامل	۲۵/۴۳۱	۲	۱۲/۷۱	۱۶/۰۷	۰/۰۰۱	۰/۵۹۴
	خطا	۱۷/۴۰	۲۲	۰/۷۹			
پاسخ صحیح جستجوی بینایی	عامل	۱۶۷۷/۵۵۶	۲	۸۳۸/۷۷۲	۲۰/۴۸	۰/۰۰۲	۰/۶۴۶
	خطا	۹۲۰/۴۴۴	۲۲	۴۱/۸۳۸			

جدول-۳. آزمون پیگردی بونفرونی برای مقایسه دوبه‌دو عوامل درون‌گروهی برای توزیع مؤلفه‌های جستجوی بینایی و کارکردهای توجه در سه موقعیت آند، کاتد و ساختگی

متغیر	نوع تحریک	آند		کاتد
		کاتد	ساختگی	کاتد
زمان واکنش گوش بزنگی	اختلاف میانگین	-۲۰/۲۵	-۲۹/۰۸	-۸/۸۳
	خطای معیار	۱/۸۹۹	۳/۱۷۸	۳/۸۲۷
	P	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۱۲۴
پاسخ صحیح گوش بزنگی	اختلاف میانگین	۹/۵۰	۱۶/۶۷	۷/۱۷
	خطای معیار	۲/۷۸	۲/۲۳	۲/۸۶
	P	۰/۰۱۷	۰/۰۰۱	۰/۰۸۹
زمان واکنش جستجوی بینایی	اختلاف میانگین	-۲۰/۲۵	-۲۹/۰۸	-۸/۸۳
	خطای معیار	۱/۸۹۹	۳/۱۷۸	۳/۸۲۷
	P	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۱۲۴
پاسخ صحیح جستجوی بینایی	اختلاف میانگین	۹/۵۰	۱۶/۶۷	۷/۱۷
	خطای معیار	۲/۷۸	۲/۲۳	۲/۸۶
	P	۰/۰۱۷	۰/۰۰۱	۰/۰۸۹

بحث

هدف از این پژوهش بررسی تاثیر تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای قشر پیش‌پیشانی جانبی خلفی بر جستجوی بینایی و کارکردهای توجه هوانوردان بود. نتایج نشان داد که که تحریک آندال tDCS در ناحیه قشر پیش‌پیشانی جانبی خلفی باعث بهبود جستجوی بینایی و کارکردهای توجه هوانوردان شده است. به طور کلی نتایج نشان داد که در شاخص‌های جستجوی بینایی (پاسخ در زمان عدم حضور محرک و پاسخ در زمان حضور محرک) بین حالت تحریک شم با آندال و کاتدال با آندال تفاوت معنی‌داری وجود دارد. اما تفاوت معنی‌داری بین حالت تحریک شم و کاتدال به دست نیامد. این نتایج نشان می‌دهد که تحریک آندال باعث بهبود جستجوی بینایی در هوانوردان شده است. ایـن یافته‌ها از حمایت تحقیقاتی برخوردار است و با نتایج پژوهش‌های Davis و Smith (۱۴)، McIntire و همکاران (۳۴)، Dockery و همکاران (۲۰) و Heinze



شکل-۳. نمودار هیستوگرام روند تغییرات. الف) مؤلفه‌های پاسخ صحیح گوش به زنگی توجه؛ ب) زمان واکنش گوش بزنگی توجه؛ ج) زمان واکنش جستجوی بینایی؛ د) پاسخ صحیح جستجوی بینایی در سه موقعیت آند، کاتد و ساختگی.

و همکاران (۲۱) همسو می‌باشد.

Davis و Smith (۱۴) در پژوهشی نشان دادند که تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز یک روش تحریک مغز غیرتهاجمی است که پتانسیل بی‌نظیری را برای بهبود کارکردهای شناختی نیروهای نظامی ایجاد می‌کند. McIntire و همکاران (۳۴) نیز نشان دادند که تحریک آندال به‌طور قابل‌توجهی اثرات معنی‌داری بر عملکرد شناختی و حل مسئله در میان نیروهای نظامی ایجاد می‌کند. Dockery و همکاران (۲۰) هم در پژوهش خود اثربخشی تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز را بر بهبود دقت عملکرد و جستجوی بینایی نیروهای نظامی نشان دادند. Heinze و همکاران (۲۱) نیز در تحقیقات خود اثربخشی تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای را بر بهبود توانایی برنامه‌ریزی و حل مسئله در نیروهای نظامی نشان دادند. نتایج این پژوهش‌ها مبنی بر اثربخشی تحریک الکتریکی فرا جمجمه‌ای مغز بر کارکردهای شناختی با پژوهش حاضر همسو بود. لازم به ذکر است که تمام این مطالعات در جامعه نظامی صورت گرفته است که از این بعد نیز با پژوهش حاضر همخوانی دارند.

از سوی دیگر در پژوهش حاضر مشخص شد که تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز کارکردهای توجه مربیان هوایی را نیز ارتقا می‌دهد. به طور کلی این نتایج نشان داد که در شناسایی سیگنال بین حالت تحریک شم با آندال و حالت کاتدال با آندال تفاوت معنی‌داری وجود دارد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که تحریک آندال باعث بهبود فرایند شناسایی سیگنال در هوانوردان می‌شود. این نتایج با یافته‌های Coffman و همکاران (۳۶) Leite و همکاران (۳۵) همسو است (۳۵،۳۶).

Coffman و همکاران (۳۶) در پژوهش خود نشان دادند که تحریک آندال با شدت ۲ میلی‌آمپر به مدت ۲۰ دقیقه باعث بهبود شناسایی هدف می‌شود، اما شدت یک میلی‌آمپر اثر محسوسی ندارد. از آنجا که در پژوهش حاضر تحریک با شدت ۲ میلی‌آمپر اثربخش بود، می‌تواند تأیید کننده یافته‌های Coffman و همکاران (۳۶) باشد. هر چند مطالعه Coffman و همکاران (۳۶) تفاوت‌هایی به لحاظ روش‌شناسی با پژوهش حاضر دارد. برای مثال مطالعه کافمن تحریک آندال را در ناحیه پایینی قشر پیشانی سمت راست انجام داده است، اما در مطالعه حاضر ناحیه قشر پیش‌پیشانی جانبی خلفی تحریک شده است. همچنین در این مطالعه از دو حالت تحریک آندال یک و دو میلی‌آمپر استفاده شده است، اما در مطالعه حاضر از شدت دو میلی‌آمپر در حالت‌های کاتدال و آندال استفاده شده است.

در مطالعه Leite و همکاران (۳۵) تحریک آندال در افراد سالم با تأثیر بر قشر بینایی، باعث بهبود عملکرد شناسایی سیگنال شد، اما تحریک کاتدال و تحریک شم هیچ تأثیر معنی‌داری بر کارکردهای توجه نداشت (۳۵). این نتایج از جهت اثربخش نبودن تحریک کاتدال و شم و همچنین تأثیر موفق تحریک آندال با یافته‌های پژوهش حاضر همسو است. البته باید در نظر داشت که تفاوت‌های روش‌شناختی ممکن است در مقایسه این مطالعه با یافته‌های تحقیق حاضر مطرح باشد. برای مثال مطالعه Leite و

همکاران (۳۵) با شدت یک میلی‌آمپر به مدت ۱۵ دقیقه انجام شده است و ناحیه تحریک نیز قشر پس‌سری و منطقه CZ بوده است، که از این جهت با پژوهش حاضر تفاوت دارد. به علاوه، شرکت‌کنندگان این دو مطالعه نیز متفاوت بودند.

در تبیین این یافته‌ها می‌توان اظهار کرد که احتمالا تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای تحریک‌پذیری نئوکورتکس را افزایش می‌دهد (۳۷). این نظریه براساس یافته‌های اخیر در مورد افزایش فعالیت گلوتاماترژیک از طریق تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای آندال پشتیبانی می‌شود (۳۸). بنابراین، این امکان وجود دارد که تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای آندال فعالیت را در مناطق خاص مغز، یعنی قشر قشر پیش‌پیشانی جانبی خلفی، که ممکن است عملکردهای شناختی را که از ادراک و رمزگذاری پشتیبانی می‌کند، تسهیل نموده و منجر به دقت بیشتر در توجه شود. همچنین در سطح انتقال دهنده‌های عصبی نیز افزایش سطح گلوتاماترژیک می‌تواند منجر به تشکیل کدهای نورنی از طریق یک مکانیسم عصبی شود که در آن انتقال عصبی سلول‌ها به صورت همزمان انجام می‌شوند (۳۹). همچنین، تعدادی از مطالعات نشان داده‌اند که تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای آندال با افزایش انگیختگی عصبی از طریق تأثیرگذاری بر سیستم‌های گلوتاماترژیک مرتبط است (۴۰). بنابراین، تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای ممکن است ارتقای عملکردهای شناختی را از طریق تغییر پلاستیسیتی عصبی مرتبط با گلوتاماترژیک یا برخی دیگر از انتقال دهنده‌های عصبی انجام دهد.

در خصوص ارزش یافته‌های پژوهش حاضر می‌توان گفت که فرضیات ابتدایی در مورد مهارت جستجوی بینایی، الگوی جستجوی کارآمد و انتخابی شامل واکنش سریع‌تر و تعداد پاسخ صحیح بیشتر است. لذا در شرایط دشوار مأموریتی، هوانوردان با محدودیت‌های زمانی و وجود محرک‌های مزاحم روبه‌رو هستند که باید بتوانند همان‌گونه که بینایی مرکزی خود را روی یک منطقه خاص حفظ می‌کنند، از بینایی محیطی نیز برای استخراج اطلاعات از موقعیت و ردیابی محرک‌های مزاحم و مداخله‌کننده دیگر استفاده کنند. درواقع هوانوردان اطلاعات را از محرک‌های مرتبط با مأموریت برداشت می‌کنند، درحالی‌که به‌طور هم‌زمان به تغییرات موقعیتی در محیط اطراف نیز نظارت دارند. به بیانی دیگر محدودیت‌های تکلیف که به‌وسیله تعداد منابع اطلاعاتی بیان می‌شود، استفاده از سیستم‌های بینایی مختلف را مشخص می‌کند و تعداد کمتر منابع اطلاعاتی، افراد را به استفاده هرچه بیشتر از بینایی محیطی سوق می‌دهد. در این پژوهش تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز آندال در قشر پیش‌پیشانی جانبی خلفی توانسته این محدودیت را کاهش داده و توانایی جستجوی بینایی و همچنین کارکردهای توجه را ارتقا دهد.

همچنین در ادامه تبیین یافته‌های حاضر می‌توان گفت که دلیل کاهش زمان جستجوی بینایی به دنبال تحریک الکتریکی فراجمجه‌ای مغز در پژوهش حاضر، ممکن است تحریک‌پذیری کورتکسی مربوط باشد؛ به این ترتیب که تحریک آندال با دپلاریزه کردن نورونی، موجب تغییر در استراحت نورونی شده و تحریک‌پذیری کورتکسی قشر پیش‌پیشانی جانبی خلفی چپ را افزایش می‌دهد. همچنین ممکن است شبکه‌های کرتکسی فرایند انتخاب پاسخ در جستجوی بینایی، بیشتر از اعمال شناختی (۴۱) دیگر تحت تأثیر مداخله انجام شده در پژوهش حاضر قرار گرفته باشد.

طی فرایند توجهی در حافظه کاری اطلاعاتی که از قبل وجود دارند، با اطلاعات فعلی ترکیب می‌شوند تا بتوانند عملکرد مناسبی اتخاذ شود (۴۲). لذا می‌توان نقش دوپامین را در فرایند بهبود توجه در پژوهش حاضر محتمل دانست. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که در طول تکلیف مرتبط با توجه، دوپامین در نواحی پیش پیشانی افزایش می‌یابد (۴۳)؛ یعنی افزایش تحریک‌پذیری سطحی در کرتکس پیش پیشانی موجب افزایش در رهاسازی دوپامین شده که خود موجب بهبود عملکرد توجه شود. ممکن است تحریک دوپامینرژیک برای حفظ فعالیت کرتکس پیش پیشانی برای فرایندهای توجهی ضروری باشد.

از سوی دیگر در تبیین یافته‌های مربوط به افزایش تعداد پاسخ صحیح جستجوی بینایی در پژوهش حاضر می‌توان گفت که ممکن است افزایش تعداد پاسخ‌های صحیح، ناشی از مکانیسم پتانسیل بلندمدت (LTP) باشد. مکانیسم پتانسیل بلندمدت پذیرفته‌ترین مدل پلاستیسیته نورونی است که فرض می‌شود عامل اصلی در بسیاری از فعالیت‌های شناختی و توجهی است. مکانیسم پتانسیل بلندمدت به افزایش طولانی‌مدت انتقال‌دهنده‌های عصبی اشاره دارد که می‌تواند ساعت‌ها تا ماه‌ها ادامه پیدا کند که ناشی از فعالیت هم‌زمان سلول‌های پیش سیناپسی و پس سیناپسی است (۴۴). لذا به نظر می‌رسد تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز آندی می‌تواند با افزایش فعالیت پیش سیناپسی همراه با دپولاریزه کردن پس سیناپسی موجب مکانیسم پتانسیل بلندمدت شود. لذا آثار فیزیولوژیکی و سلولی تحریک آندی تا اندازه‌ای نشان‌دهنده مکانیسم پتانسیل بلندمدت است. در حقیقت مطالعات آزمایشگاهی آثار سیناپسی تحریک الکتریکی فرا جمجمه‌ای مغز را در ایجاد و تعدیل مکانیسم پتانسیل بلندمدت نشان می‌دهند (۴۵). البته باتوجه به طرح پژوهش حاضر و فاصله نزدیک مراحل مداخله این موضوع نیاز به بررسی بیشتر دارد.

از سوی دیگر زمان واکنش جستجوی بینایی سریع‌تر به دنبال تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز ممکن است به افزایش سرعت پردازش شناختی و کاهش مدت‌زمان لازم برای بازیابی نسبت داده شود (۴۶). در همین خصوص Welford (۴۷) در پژوهش خود اظهار داشت که نه‌تنها عوامل ساده‌ای مانند سرعت هدایت عصبی به این تفاوت‌ها کمک می‌کند، همچنین تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز باعث افزایش دقت و نظارت دقیق‌تر بر پاسخ‌ها می‌شود.

نکات بالینی کاربردی برای جوامع نظامی

- کارکردهای توجه به عنوان یکی از پارامترهای شناختی پرواز، نقش مهمی در سلامت و ایمنی هوانوردان دارد.
- جستجوی بینایی به عنوان یکی از پارامترهای شناختی پرواز، نقش مهمی در سلامت و ایمنی هوانوردان دارد.
- مداخلات شناختی مانند تکنیک غیر تهاجمی تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز به عنوان یکی از روش‌های آموزشی، می‌تواند جهت بهینه‌سازی کارکردهای توجه و جستجوی بینایی هوانوردان مورده استفاده قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

از آنجا که تأثیر مثبت تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز بر مؤلفه‌های مختلف جستجوی بینایی و توجه که در پژوهش حاضر تأیید شد، از حمایت‌های پژوهشی دیگر نیز برخوردار است، می‌توان بر کاربردی بودن، این مداخلات شناختی برای هوانوردان تأکید نمود و با استفاده از آن‌ها، در مسیر، شکل‌دهی پردازش و فرایندهای شناختی صحیح و پاسخگویی سریع و با دقت به محرک‌های مرتبط با مأموریت، قدم برداشت. بویژه آنکه هوانوردان هنگام انجام وظیفه، لازم است تلاش کنند توجه خود را روی موضوعی خاص متمرکز نمایند. لذا می‌توان گفت که برای حفظ تمرکز و مدیریت توجه هوانوردان (یعنی در هرلحظه آگاهی و کنترل داشته باشند و توجه آن‌ها به بهترین شکل به سیگنال‌های مرتبط با هدف معطوف شود) می‌توان از تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز استفاده نمود.

تشکر و قدردانی: نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند که از همه کسانی که در این مطالعه شرکت کردند صمیمانه قدردانی نمایند. این پژوهش مستخرج از طرح تحقیقاتی به شماره ۰۱۸۹-۰۰-۹۹ مصوبه ۱۴۰۰/۰۲/۲۶ با کد کمیته اخلاق شماره IR.BMSU.BAQ.REC.1400.054 به تاریخ ۱۴۰۰/۱۰/۰۸ دانشگاه علوم پزشکی بقیه‌الله (عج) می‌باشد.

تضاد منافع: نویسندگان تصریح می‌کنند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در مطالعه حاضر وجود ندارد.

منابع

1. Vickers J. Advances in coupling perception and action: the quiet eye as a bidirectional link between gaze, attention, and action. Progress in Brain Research. 2009(174):279-88. doi:10.1016/S0079-6123(09)01322-3
2. Rose D, Christina R. A Multilevel Approach to the Study of Motor Control and Learning 2ed; 2006.
3. Cano-de-la-Cuerda R, Molero-Sánchez A, Carratalá-Tejada M, Alguacil-Diego IM, Molina-Rueda F, Miangolarra-Page JC, et al. Theories and control models and motor learning: Clinical applications in neurorehabilitation. Neurología (English Edition). 2015;30(1):32-41. doi:10.1016/j.nrleng.2011.12.012
4. Piras A, Lobietti R, Squatrito S. Response time, visual search strategy, and anticipatory skills in volleyball players. Journal of Ophthalmology. 2014;2014:189268. doi:10.1155/2014/189268
5. Zare H, Nahravanian P. The effect of Barkley's attention training and useful sight in children and adult's visual search. Journal of Cognitive Psycholog. 2014;1(1):25-32. doi:20.1001.1.23455780.1392.1.1.4.0
6. Coffey CE, McAllister TW, Silver JM, editors. Guide to neuropsychiatric therapeutics. Lippincott Williams & Wilkins; 2007.
7. Broadbent D. Perception and communication. London: Pergamon Press; 1985.
8. Hahn B, Wolkenberg FA, Ross TJ, Myers CS, Heishman SJ, Stein DJ, et al. Divided versus selective attention: evidence for common processing mechanisms. Brain Research. 2008;1215:137-46. doi:10.1016/j.brainres.2008.03.058
9. Solso RL, MacLin MK, MacLin OH. Cognitive psychology. Pearson Education New Zealand; 2005.
10. Mangal SK. Advanced educational psychology. PHI Learning Pvt. Ltd.; 2002.
11. Abdoli B, Namazizadeh M, Moeini Rad S. Comparison of anticipation skills and visual search behaviors of skilled and novice basketball players in different positions attack (1 on 1, 3 on 3). Motor Behavior. 2015;7(19):15-32.
12. Amini A, Vaezmousavi M. The Effect of Transcranial Electrical Stimulation on Athletic Performance Optimization: Systematic review, Meta-Analysis, and Proposing a Theoretical Model. The Neuroscience Journal of Shefaye Khatam. 2021;9(4):81-104. [In Persian] doi:10.52547/shefa.9.4.81
13. Miyaguchi S, Onishi H, Kojima S, Sugawara K, Tsubaki A, Kirimoto H, et al. Corticomotor excitability induced by anodal transcranial direct current stimulation with and without non-exhaustive movement. Brain Research. 2013;1529:83-91. doi:10.1016/j.brainres.2013.07.026
14. Davis SE, Smith GA. Transcranial direct current stimulation use in warfighting: benefits, risks, and future prospects. Frontiers in Human Neuroscience. 2019;13:114. doi:10.3389/fnhum.2019.00114
15. Stone DB, Tesche CD. Transcranial direct current stimulation modulates shifts in global/local attention. Neuroreport. 2009;20(12):1115-9. doi:10.1097/WNR.0b013e32832e9aa2
16. Moos K, Vossel S, Weidner R, Sparing R, Fink GR. Modulation of top-down control of visual attention by cathodal tDCS over right IPS. Journal of Neuroscience. 2012;32(46):16360-8. doi:10.3389/fnhum.2019.00114
17. Roe JM, Nesheim M, Mathiesen NC, Moberget T, Alnæs D, Sneve MH. The effects of tDCS upon

sustained visual attention are dependent on cognitive load. Neuropsychologia. 2016;80:1-8. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2015.11.005
18. Weiss M, Lavidor M. When less is more: evidence for a facilitative cathodal tDCS effect in attentional abilities. Journal of Cognitive Neuroscience. 2012;24(9):1826-33. doi:10.1162/jocn_a_00248
19. Antal A, Nitsche MA, Kruse W, Kincses TZ, Hoffmann K-P, Paulus W. Direct current stimulation over V5 enhances visuomotor coordination by improving motion perception in humans. Journal of Cognitive Neuroscience. 2004;16(4):521-7. doi:10.1162/089892904323057263
20. Dockery CA, Hueckel-Weng R, Birbaumer N, Plewnia C. Enhancement of planning ability by transcranial direct current stimulation. Journal of Neuroscience. 2009;29(22):7271-7. doi:10.1523/JNEUROSCI.0065-09.2009
21. Heinze K, Ruh N, Nitschke K, Reis J, Fritsch B, Unterrainer JM, et al. Transcranial direct current stimulation over left and right DLPFC: lateralized effects on planning performance and related eye movements. Biological Psychology. 2014;102:130-40. doi:10.1016/j.biopsycho.2014.07.019
22. Harbison J, Atkins SM, Dougherty MR, editors. N-back training task performance: Analysis and model. Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society; 2011.
23. Zamani G, Doostan MR. The effect of transcranial direct current stimulation on working memory and reactiontime in athlete girls. Neuropsychology. 2018;3(10):51-62. [In Persian]
24. Holgado D, Vadillo MA, Sanabria D. The effects of transcranial direct current stimulation on objective and subjective indexes of exercise performance: A systematic review and meta-analysis. Brain Stimulation. 2019;12(2):242-50.
25. Thair H, Holloway AL, Newport R, Smith AD. Transcranial direct current stimulation (tDCS): a beginner's guide for design and implementation. Frontiers in Neuroscience. 2017;11:641. doi:10.3389/fnins.2017.00641
26. Varrasse M, Li J, Gooneratne N. Exercise and sleep in community-dwelling older adults. Current Sleep Medicine Reports. 2015;1:232-40. doi:10.1007/s40675-015-0028-6
27. Shin IS, Park EY. Meta-analysis of the effect of exercise programs for individuals with intellectual disabilities. Research in developmental disabilities. 2012;33(6):1937-47. doi:10.1016/j.ridd.2012.05.019
28. Valenzuela PL, Amo C, Sánchez-Martínez G, Torrontegi E, Vázquez-Carrión J, Montalvo Z, et al. Enhancement of mood but not performance in elite athletes with transcranial direct-current stimulation. International Journal of Sports Physiology and Performance. 2019;14(3):310-6. doi:10.1123/ijspp.2018-0473
29. Faber M, Vanneste S, Fregni F, De Ridder D. Top down prefrontal affective modulation of tinnitus with multiple sessions of tDCS of dorsolateral prefrontal cortex. Brain stimulation. 2012;5(4):492-8. doi:10.1016/j.brs.2011.09.003
30. Terry PC, Malekshahi M, Delva HA. Development and initial validation of the Farsi Mood Scale. International Journal of Sport and Exercise Psychology. 2012;10(2):112-22. doi:10.1080/1612197X.2012.645133
31. Zare H, Farzad V, Alipour A, Nazer M. Effectiveness of attention-shaping training in reinforcing attention in drivers with crash history. Advances in Cognitive Science. 2012;14(2):87-97. [In Persian]
32. Malekshahi M, Va'ez Musavi MK, Aslankhani MA. The Effect of One Session PE Class on Girl Students Mood States. Sport Psychology Review. 2012;1(1):35-46.
33. Nelson JT, McKinley RA, Golob EJ, Warm JS, Parasuraman R. Enhancing vigilance in operators with prefrontal cortex transcranial direct current stimulation (tDCS). Neuroimage. 2014;85:909-17. doi:10.1016/j.neuroimage.2012.11.061
34. McIntire LK, McKinley RA, Nelson JM, Goodyear C. Transcranial direct current stimulation (tDCS) interferes with cognitive bias mitigation learning. Brain Stimulation: Basic, Translational, and Clinical Research in Neuromodulation. 2017;10(2):354. doi:10.1016/j.brs.2017.01.039
35. Leite J, Carvalho S, Fregni F, Gonçalves ÓF. Task-specific effects of tDCS-induced cortical excitability changes on cognitive and motor sequence set shifting performance. PloS One. 2011;6(9):e24140. doi:10.1371/journal.pone.0024140
36. Coffman BA, Trumbo MC, Flores RA, Garcia CM, van der Merwe AJ, Wassermann EM, et al. Impact of tDCS on performance and learning of target detection: Interaction with stimulus characteristics and experimental design. Neuropsychologia. 2012;50(7):1594-602. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2012.03.012
37. Reed T, Cohen Kadosh R. Transcranial electrical stimulation (tES) mechanisms and its effects on cortical excitability and connectivity. Journal of Inherited Metabolic Disease. 2018;41(6):1123-30. doi:10.3389/fnhum.2021.735561
38. Santana-Gómez CE, Alcántara-González D, Luna-Munguia H, Bañuelos-Cabrera I, Magdaleno-Madrigal V, Tamayo M, et al. Transcranial focal electrical stimulation reduces seizure activity and hippocampal glutamate release during status epilepticus. In 2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), IEEE. 2015;2015:6586-9. doi:10.1109/EMBC.2015.7319902
39. Zhou Y, Danbolt NC. Glutamate as a neurotransmitter in the healthy brain. Journal of Neural Transmission. 2014;121:799-817. doi:10.1007/s00702-014-1180-8
40. Korai SA, Ranieri F, Di Lazzaro V, Papa M, Cirillo G. Neurobiological after-effects of low intensity transcranial electric stimulation of the human nervous system: from basic mechanisms to

metaplasticity. Frontiers in Neurology. 2021;12: 587771. doi:10.3389/fneur.2021.587771
41. Marshall L, Mölle M, Siebner HR, Born J. Bifrontal transcranial direct current stimulation slows reaction time in a working memory task. BMC Neuroscience. 2005;6(1):23. doi:10.1186/1471-2202-6-23
42. Camden A, Phillips C, McKinley RA, Kender D, Nelson J. Strategy shifting with multisensorial cueing: Theoretical capability of multitasking throughput. IEEE Transactions on Human-Machine Systems. 2015;46(1):136-42. doi:10.1109/THMS.2015.2470679
43. Boggio PS, Ferrucci R, Rigonatti SP, Covre P, Nitsche M, Pascual-Leone A, et al. Effects of transcranial direct current stimulation on working memory in patients with Parkinson's disease. Journal of the Neurological Sciences. 2006;249(1):31-8. doi:10.1016/j.jns.2006.05.062
44. Cooke SF, Bliss TV. Plasticity in the human central nervous system. Brain. 2006;129(7):1659-73. doi:10.1093/brain/awl082
45. Ranieri F, Podda MV, Riccardi E, Frisullo G, Dileone M, Profice P, et al. Modulation of LTP at rat hippocampal CA3-CA1 synapses by direct current stimulation. Journal of Neurophysiology. 2012;107 (7):1868-80. doi:10.1152/jn.00319.2011
46. Hultsch DF, MacDonald SW, Dixon RA. Variability in reaction time performance of younger and older adults. The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences. 2002;57(2):P101-15. doi:10.1093/geronb/57.2.P101
47. Welford A. Choice reaction time: Basic concepts. Reaction times. 1980:73-128.