Published by: Iranian Society for Biomedical Engineering / www.isbme.ir

Iranian Journal of Biomedical Engineering

www.ijbme.org / P-ISSN: 2008-5869 / E-ISSN: 8006-9685

Volume 17, Issue 1, Spring 2023, 71 - 81

Augmentation of Working Memory by Electrical Stimulation of Pilot's Brain

Hamzeh, Elnaz [1] / Bahmani, Zahra [2*] / Rostami, Mohammad [3]

[1] - M.Sc., Biomedical Engineering Group, Department of Electrical and Computer Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

[2] - Assistant Professor, Biomedical Engineering Group, Department of Electrical and Computer Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran / Assistant Professor, Cognitive Neuroscience Group, Interdisciplinary Science and Technology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

[3] - Ph.D. Student, Telecommunication Group, Department of Electrical and Computer Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

DOI: 10.22041/ijbme.2023.2007949.1853

Received: 27 July 2023 Revised: 29 September 2023 Accepted: 11 October 2023

KEYWORDS

Human Enhancement
Working Memory
Pilot
Auditory Task
Electrical Stimulation
Dorsolateral Prefrontal Cortex

ABSTRACT

Working memory (WM) is an important cognitive function. Since WM capacity is limited, extensive research has been executed to improve it. Previous studies demonstrated that applying transcranial direct current stimulation (tDCS) over the left dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC) enhances visual WM. Capacity enhancement of WM has a significant effect on the pilot's efficiency. However, little is known about the auditory-verbal WM of Pilots. Therefore, the aim of this study is to evaluate the effects of tDCS over the left DLPFC on the WM capacity augmentation of pilots. The auditory-verbal WM stimuli comprise characters that are random numbers and alphabet letters. The stimulus is presented through the pilot's headset, and he has been persuaded to memorize the auditory stimulus and repeat the memorized characters. The auditory task is a set of 30 voices and is designed in 6 stages. The task starts from the easiest stage (4 characters) and continues with 2 increments of characters per stage to the most difficult stage (14 characters). The experiment was conducted under three conditions: baseline, sham, and anodal-tDCS. Before running the task, 2mA electrical stimulation with a duration of 30 seconds for the sham and 10 minutes for the anodal-tDCS conditions, was applied over the left DLPFC region of pilots. The performance measure is the number of correct remembered characters by pilots. Statistical hypotheses showed significant effects of anodal-tDCS in comparison to baseline condition as follows: %6.41 WM enhancement by considering all stages; and also improved performance around %12.20 in stage 4, %9.00 in stage 5, and %10.44 in stage 6 which are the most difficult stages. As a result, we found that 2mA anodal-tDCS over the left DLPFC can modulate WM capacity. Therefore, the current study can be utilized to discover evidence of cognitive, behavioral, or neural mechanisms of WM and its application for human augmentation.

[*]**Corresponding Author**

Address: Biomedical Engineering Group, Department of Electrical and Computer Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
Postal Code: *14115-194* **E-Mail:** *z.bahmani@modares.ac.ir* **Tel:** *+98-21-82884992*

Copyright © 2023 by ISBME, http://www.ijbme.org - All rights reserved
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

ناشر: انجمن مهندسی پزشکی ایران / www.isbme.ir

نشریه‌ی مهندسی پزشکی زیستی

شاپای چاپی: ۵۸۶۹-۲۰۰۸ / شاپای الکترونیکی: ۹۶۸۵-۸۰۰۶ / www.ijbme.org

دوره: ۱۷، شماره: ۱، بهار ۱۴۰۲، ۷۱ - ۸۱

تقویت حافظه‌ی کاری خلبانان با استفاده از تحریک الکتریکی

حمزه، الناز [۱] / بهمنی، زهرا [۲*] / رستمی، محمد [۳]

[۱] – کارشناسی ارشد، گروه مهندسی پزشکی، دانشکده‌ی مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

[۲] – استادیار، گروه مهندسی پزشکی، دانشکده‌ی مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران / استادیار، گروه علوم شناختی، دانشکده‌ی علوم و فناوری‌های بین رشته‌ای، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

[۳] – دانشجوی دکتری، گروه مخابرات، دانشکده‌ی مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

مشخصات مقاله

شناسه‌ی دیجیتال: 10.22041/ijbme.2023.2007949.1853

ثبت در سامانه: ۵ مرداد ۱۴۰۲ بازنگری: ۷ مهر ۱۴۰۲ پذیرش: ۱۹ مهر ۱۴۰۲

واژه‌های کلیدی

تقویت انسان

حافظه‌ی کاری

خلبان

تسک شنیداری

تحریک الکتریکی

ناحیه‌ی DLPFC

چکیده

حافظه‌ی کاری در کارکردهای اجرایی از اهمیت بالایی برخوردار بوده و حافظه‌ی کاری کلامی نقشی حیاتی در بهینه‌سازی عمل‌کرد کاربران سیستم‌های پیچیده مانند خلبانان دارد اما ظرفیت آن محدود است. تحقیقات وسیعی با هدف بهبود ظرفیت حافظه‌ی کاری بینایی انجام شده اما اطلاعات اندکی در مورد حافظه‌ی کاری شنیداری به ویژه در خلبانان در دسترس است. هدف این مطالعه بررسی تاثیرات تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای بر حافظه‌ی کاری کلامی خلبانان در حین انجام تسک شنیداری است. تسک شنیداری شامل آواهای غیرتکراری و حاوی تعداد برابری از اعداد و حروف انگلیسی تصادفی با توزیع یک‌نواخت بوده که در گوشی خلبان پخش شده و خلبان موظف است پس از شنیدن هر آوا آن را بازگو کند. این تسک شنیداری در ۶ سطح از آسان تا سخت طراحی شده است که در هر سطح تعداد کاراکترها ۲ عدد افزایش یافته و به ازای هر سطح ۵ آوا وجود دارد. بنابراین در هر جلسه ۳۰ آوا متشکل از ۴ تا ۱۴ کاراکتر ارائه شده است. پیش از شروع تسک، تحریک الکتریکی با شدت جریان ۲ میلی‌آمپر اعمال شده است. این آزمایش شامل سه مرحله‌ی پایه (بدون تحریک)، شم (تحریک ساختگی) و آندال (تحریک اصلی) است. مدت زمان اعمال تحریک در حالت شم ۳۰ ثانیه و در حالت آندال ۱۰ دقیقه است. در نهایت با بررسی پاسخ آزمودنی‌ها و تعداد کاراکترهایی که درست به خاطر سپرده شده، با استفاده از آزمون‌های آماری تغییرات عمل‌کرد خلبانان بررسی شده است. در نتیجه با در نظر گرفتن تمام سطوح دشواری در کنار هم، بهبود معنی‌داری در ظرفیت حافظه‌ی کاری با تحریک آندال (۶/۴۱٪) نسبت به حالت پایه مشاهده شده است. هم‌چنین نشان داده شده که در سطوح دشوارتر تسک، عمل‌کرد خلبانان پس از اعمال تحریک نسبت به حالت پایه بهبود معنی‌داری داشته است (سطح ۴: ۱۲/۲۰٪، سطح ۵: ۹/۰۰٪ و سطح ۶: ۱۰/۴۴٪). بنابراین نتایج این تحقیق می‌تواند برای یافتن بینشی عمیق‌تر در مورد مکانیسم عصبی حافظه‌ی کاری و استفاده از آن برای تقویت انسان مفید باشد.

[*]نویسنده‌ی مسئول

نشانی: گروه مهندسی پزشکی، دانشکده‌ی مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

کد پستی: ۱۴۱۱۵-۱۹۴ **پست الکترونیک:** *z.bahmani@modares.ac.ir* **تلفن:** ۸۲۸۸۴۹۹۲-۲۱-۹۸+

Copyright © 2023 by ISBME, http://www.ijbme.org - All rights reserved

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

۱- مقدمه

بررسی عواملی مانند حافظه‌ی کاری، توجه، حواس‌پرتی، بار کاری، خستگی ذهنی، خواب آلودگی و هم‌چنین استرس خلبان در صنعت هواپیمایی اهمیت قابل توجهی دارد زیرا انجام پرواز به همراه عملیات پیچیده‌ی هوایی با سطح هوشیاری پایین خلبان منجر به سوانح شدید هوایی شده که گاها خسارت‌های مالی و جانی جبران ناپذیری را در پی خواهد داشت. در پروازهای طولانی و پیچیده‌تر، عواملی مانند کاهش ظرفیت حافظه، عدم توجه کافی، خستگی، حواس‌پرتی و بار کاری بالای خلبان از جمله مهم‌ترین دلایل تصادفات هوایی بوده که به طور جدی ایمنی پرواز را تحت تاثیر قرار می‌دهند [۱]. از نظر آماری بیش از ۷۰ درصد از تصادفات هوایی به عوامل انسانی مانند اختلال در توانایی‌های شناختی خلبان نسبت داده می‌شود [۲]. در بسیاری از مطالعات نشان داده شده است که توانایی‌های شناختی خلبانان می‌تواند بر ایمنی پرواز تاثیر بگذارد زیرا کنترل هواپیما به مهارت‌های شناختی بالایی نیاز دارد. کارکردهای شناختی حوزه‌های مختلفی از فعالیت‌های ذهنی و عمل‌کردهای اجرایی را در بر می‌گیرند. کاهش این توانایی شناختی ممکن است در حالت‌های مختلف ذهنی رخ دهد [۳]. حافظه‌ی کاری یکی از اصلی‌ترین توانایی‌های شناختی است که به عنوان سیستمی با ظرفیت محدود تعریف شده و ذخیره‌سازی موقت اطلاعات برای پردازش‌های بعدی را بر عهده دارد. به علاوه این سیستم قادر است اطلاعات را به صورت موقت ذخیره کرده و مورد استفاده قرار دهد. حافظه‌ی کاری بینایی و شنیداری اجزای اصلی حافظه‌ی کاری کلامی[۱] بوده که عوامل تعیین کننده در توانایی‌های شناختی مانند یادگیری، توجه و تصمیم‌گیری هستند [۴]. حافظه‌ی کاری کلامی شامل اطلاعات بینایی و شنیداری کلامی است و به حفظ و مدیریت موقت اطلاعات زبانی[۲] در حافظه بر می‌گردد که به مغز کمک می‌کند تا عمل‌کردهای شناختی بالاتری مانند درک زبان را انجام دهد. بنابراین اختلال یا کاهش ظرفیت این توانایی شناختی می‌تواند تاثیرات منفی در عمل‌کرد افراد داشته باشد و از این رو جلوگیری از کاهش و هم‌چنین بهبود ظرفیت آن ضروری است [۴]. تقویت انسان یکی از امیدوار کننده‌ترین فناوری‌های نوظهور برای آینده بوده و تعداد رو به افزایشی از مطالعات و تحقیقات با هدف نظارت بر عمل‌کرد و ظرفیت شناختی مانند ظرفیت حافظه‌ی کاری یا توجه در حال انجام است [۵].

تحقیقات گسترده‌ای با امید بهبود عمل‌کردهای شناختی حیاتی مانند حافظه‌ی کاری با تحریکات مغزی انجام شده است [۶، ۷]. با این فرض که با انتقال جریان از طریق الکترودهایی که در ناحیه‌ی خاصی روی پوست سر قرار می‌گیرند می‌توان تحریک‌پذیری قشر پیش‌پیشانی[۳] را افزایش داد و در نتیجه حافظه‌ی کاری را بهبود بخشید [۸]. نشان داده شده است که تحریک آندال ناحیه‌ی DLPFC راست و هم‌چنین تحریک آندال ناحیه‌ی Posterior Parietal راست به صورت معنی‌داری باعث بهبود حافظه‌ی کاری می‌شود [۹]. در یک تحقیق با ۲۰ دقیقه تحریک آندال ناحیه‌ی DLPFC چپ در یک تسک تشخیص تغییر[۴]، عمل‌کرد حافظه‌ی کاری تعدیل شده است [۱۰]. هم‌چنین نشان داده شده که ۲۰ دقیقه تحریک آندال ناحیه‌ی DLPFC چپ، حافظه‌ی کاری بینایی آزمودنی‌ها را به طور معنی‌داری بهبود بخشیده است [۱۱]. در یک تسک توجه بینایی-شنیداری پس از اعمال ۲۰ دقیقه تحریک آندال tDCS در ناحیه‌ی DLPFC چپ و راست در ۵ روز متوالی، نتیجه گرفته شده که توجه افراد به طور معنی‌داری بهبود یافته است [۱۲]. هم‌چنین مشاهده شده که اعمال ۱۵ دقیقه تحریک آندال با جریان ۱/۵ میلی‌آمپر واکنش‌پذیری قشری را تعدیل کرده که با کاهش زمان واکنش آزمودنی نمایان شده است [۱۳]. در یک مطالعه‌ی دیگر اعمال ۲۰ دقیقه تحریک آندال کانونی tDCS[۵] در ناحیه‌ی DLPFC چپ و هم‌چنین ناحیه‌ی IPS[۶] چپ بهبود معنی‌داری در دقت توجه داشته است [۱۴]. در یک تحقیق نشان داده شده که تحریک آندال DLPFC چپ به طور معنی‌داری دقت حافظه‌ی کاری بینایی را هم در طول تحریک و هم پس از آن افزایش داده در حالی که عمل‌کرد حافظه‌ی کاری شنوایی را ماژوله نکرده اما زمان واکنش را بهبود بخشیده است[۱۵]. در یک پژوهش دیگر نیز اعمال ۲۰ دقیقه تحریک آندال tDCS با شدت جریان ۲ میلی‌آمپر بر ناحیه‌ی DLPFC چپ، حافظه‌ی کاری شنیداری و هم‌چنین توجه را بهبود بخشیده است [۱۶]. با این حال در یک تحقیق دیگر اعمال ۲۰ دقیقه تحریک آندال با شدت جریان ۱/۵ میلی‌آمپر بر ناحیه‌ی گیج‌گاهی چپ تاثیرات معنی‌داری بر ظرفیت حافظه‌ی کاری کلامی نداشته است [۱۷]. اخیرا نشان داده شده که اعمال ۳۰ دقیقه تحریک کانونی tDCS بر ناحیه‌ی DLPFC چپ در خلبانان باعث بهبود معنی‌داری در عمل‌کرد پرواز به خصوص در خلبانان تازه‌کار شده و توانایی مغز را برای تمرکز بر

---

۱ Verbal Working Memory
۲ Linguistic
۳ Prefrontal
۴ Change Detection Task
۵ HD-tDCS
۶ Intraparietal Sulcus

Copyright © 2023 by ISBME, http://www.ijbme.org - All rights reserved
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

پرواز و نادیده گرفتن عوامل حواس‌پرتی افزایش داده است [۱۸]. در کابین خلبان محرک‌های زیادی وجود داشته و خلبان نقش مهمی در توجه به تمام این منابع اطلاعاتی دارد. در واقع خلبان هرگز نمی‌تواند بدون حافظه‌ی کاری یعنی این مکانیسم شناختی که توانایی تمرکز بر محرک‌ها یا مکان‌های خاص را فراهم می‌کند این کار را انجام دهد. از آن‌جا که مشاغلی مانند خلبانی از لحاظ بالا بردن امنیت مردم اهمیت بالایی دارند، این تحقیق به دنبال کسب اطلاعات بیش‌تر در مورد تقویت حافظه‌ی کاری کلامی-شنیداری خلبانان است. هدف این مطالعه بهینه‌سازی عمل‌کرد خلبان و کاهش خطای انسانی در پروازهای واقعی است. بنابراین توسعه‌ی یک سیستم مطمئن برای تعدیل حالات و رفتارهای ذهنی خلبانان مفید است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- کد اخلاق

کد اخلاق مربوط به این تحقیق در تاریخ ۱۴۰۱/۰۱/۲۴ توسط کارگروه کمیته‌ی اخلاق در پژوهش دانشگاه علوم پزشکی ایران با شناسه‌ی IR.IUMS.REC.1401.031 به تصویب رسیده است. پیش از شروع آزمایش، تمام شرکت کنندگان مطابق با الزام کمیته‌ی اخلاق رضایت‌نامه‌ی شرکت در این پژوهش را پس از مطالعه‌ی دقیق به صورت کتبی امضا کرده‌اند.

۲-۲- مراحل آزمایش

به منظور فراهم ساختن امکان بررسی تاثیر تحریک الکتریکی بر بهبود یا عدم بهبود حافظه‌ی کاری افراد، لازم است پاسخ آزمودنی‌ها در شرایط بدون تحریک ثبت شده، سپس تحریک شم[۱] یا غیرفعال برای کنترل اثر دارونما اعمال شده و در نهایت تحریک فعال که به آن تحریک آندال[۲] گفته می‌شود اعمال شود. در شکل (۱) مراحل انجام آزمایش نشان داده شده است.

شکل (۱)- روند آزمایش

بنابراین باید مرحله‌ی اول آزمایش برای تمام شرکت کنندگان بدون اعمال هیچ‌گونه تحریک مغزی انجام شده و عمل‌کرد آن‌ها در حالت پایه[۳] ثبت شود. پیش از شروع مرحله‌ی دوم آزمایش، تحریک شم به مدت ۳۰ ثانیه و هم‌چنین پیش از شروع مرحله‌ی سوم، تحریک آندال به مدت ۱۰ دقیقه اعمال شده است. پس از پایان مدت زمان اعمال تحریک، آزمایش شروع شده و تسک مورد نظر اجرا گردیده است.

۲-۳- تسک حافظه‌ی کاری

محرک‌ها با استفاده از یک کامپیوتر رومیزی که نرم‌افزار متلب R2019b و جعبه‌ابزار سایکوفیزیک[۴] روی آن نصب شده آماده شده است. هم‌چنین برای ارائه‌ی محرک‌ها از مقاله‌ی [۱۹] کمک گرفته شده است. برای تشخیص بهتر تاثیر تحریک مغزی بر بهبود یا عدم بهبود عمل‌کرد حافظه‌ی کاری افراد، تسک حافظه‌ی کاری کلامی-شنیداری در این تحقیق در ۶ سطح از آسان تا دشوار طراحی شده است که در هر سطح، ۵ آوای از پیش ضبط شده متشکل از اعداد و حروف انگلیسی به صورت تصادفی در گوشی خلبان پخش شده و خلبان باید بدون یادداشت برداری آن‌ها را به ذهن سپرده و بلافاصله پس از پایان هر آوا آن را بازگو کند. در سطح آسان تعداد کاراکترهای تشکیل دهنده‌ی هر آوا برابر با ۴ بوده و در هر مرحله تعداد کاراکترها ۲ عدد افزایش یافته است. بنابراین در دشوارترین سطح تسک تعداد کاراکترها به ۱۴ عدد رسیده است. در شکل (۲) روند انجام آزمایش نشان داده شده است.

جهت سنجش میزان تاثیر اعمال تحریک بر بهبود حافظه‌ی کاری، تسک شنیداری فوق با استفاده از آواهایی حاوی کاراکترهای تصادفی با توزیع یک‌نواخت برای هر فرد در ۳ مرحله‌ی پایه، تحریک شم به مدت ۳۰ ثانیه و تحریک آندال به مدت ۱۰ دقیقه اجرا شده و در هر مرحله ۳۰ محرک ارائه شده و بین هر دو مرحله حدود ۱۰ دقیقه استراحت برای خلبانان در نظر گرفته شده است. تمام محرک‌ها در مراحل مختلف آزمایش و برای تمام آزمودنی‌ها متفاوت است.

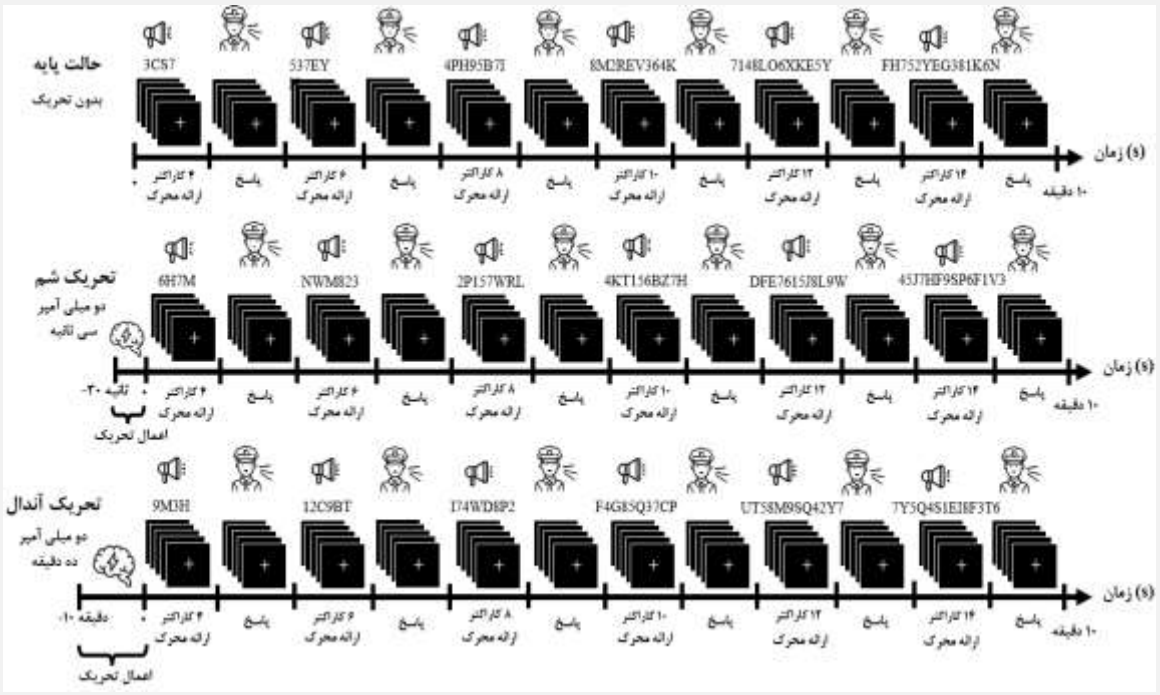
۲-۴- تحریک الکتریکی

در این تحقیق از دستگاه تحریک مغزی جریان مستقیم Omni که یک دستگاه دوقطبی[۵] با دو الکترود گیره‌ای آند و کاتد بوده استفاده شده است. بنا بر تحقیقات گذشته، اطلاعات مفیدی در حوزه‌ی بهبود حافظه‌ی کاری در تسک‌های حافظه‌ی کاری کلامی-بینایی موجود بوده اما اطلاعات اندکی در مورد حافظه‌ی کاری کلامی-شنیداری شناخته شده و هم‌چنین با توجه به نیاز جامعه و امنیت مردم، تحقیقات وسیع‌تری جهت تقویت

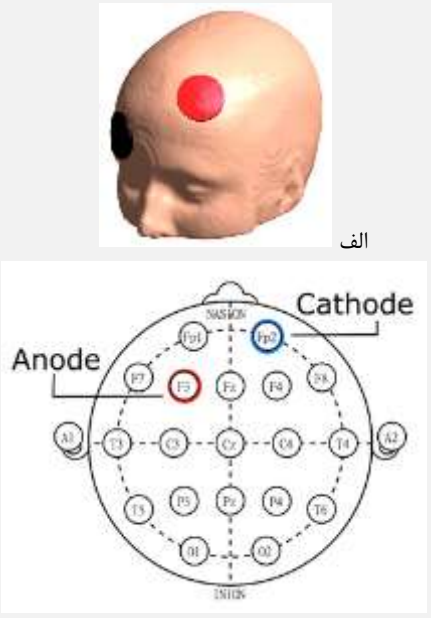
[۱] Sham Stimulation
[۲] Anodal Stimulation
[۳] Baseline
[۴] Psychophysics 3 Toolbox
[۵] Bipolar

Copyright © 2023 by ISBME, http://www.ijbme.org - All rights reserved
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

عمل‌کردهای شناختی خلبانان ضروری است. در این مطالعه با اعمال تحریک tDCS آندال با شدت جریان ۲ میلی‌آمپر در ناحیه‌ی DLPFC چپ در حین انجام تسک حافظه‌ی کاری کلامی-شنیداری عمل‌کرد خلبانان بررسی شده است. ناحیه‌ی تحریک در شکل (۳) نشان داده شده است. پس از پایان آزمایش، تمام کاراکترهای به خاطر سپرده شده توسط هر آزمودنی با کاراکترهای محرک‌های ارائه شده مقایسه گردیده و تعداد کاراکترهای درست از روی داده‌های ضبط شده استخراج شده است. در بخش‌های بعدی در مورد داده‌های این آزمایش به تفصیل توضیح داده شده است.



شکل (۲)- مراحل آزمایش



الف

ب

شکل (۳)- محل قرارگیری الکترودهای تحریک، الف) روی پوست سر [۱۳]، ب) بر اساس نام‌گذاری الکترودهای کلاه EEG[۱] [۱۰]

به منظور این که در تمام مراحل آزمایش، تسک مورد نظر تحت شرایط یکسان انجام شود، کلاه و الکترودهای تحریک از ابتدا روی پوست سر قرار گرفته و تا پایان آزمایش حتی در زمان استراحت برداشته نشده است. هم‌چنین پیش از اعمال تحریک میزان رطوبت پد اسفنجی بررسی شده و در صورت نیاز با استفاده از محلول سالین[۲] تمدید شده است.

۲-۵- آزمودنی‌ها

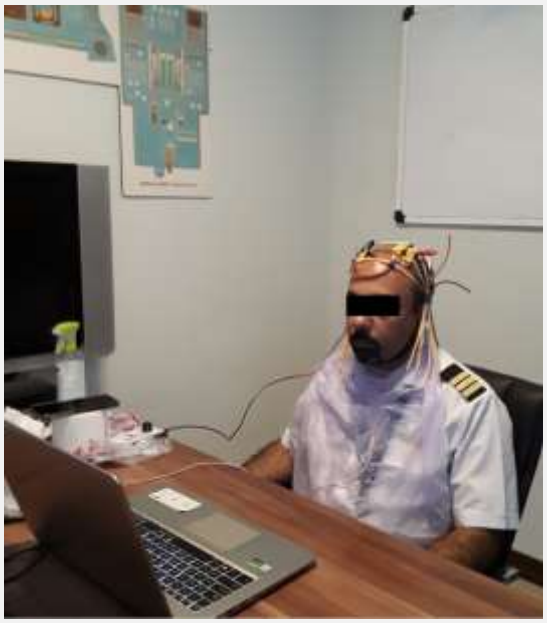
با توجه به این که این مطالعه به صورت جفت شده انجام گرفته با در نظر گرفتن اندازه‌ی اثر کوهن برابر با ۱/۳، توان آزمون ۹۵ درصد و خطای نوع اول ۰/۰۵ و به کمک نرم‌افزار G-Power [۲۰] تعداد نمونه‌ی مورد نیاز در این تحقیق برابر با ۹ نفر به دست آمده است. با در نظر گرفتن احتمال انصراف برخی از آزمودنی‌ها تعداد نمونه‌ی مورد نظر برابر با ۱۱ انتخاب شده است. از ۱۱ خلبان آقا (یک نفر به دلیل عدم خواب کافی حذف شد) با میانگین سن ۴۲ سال و خطای استاندارد میانگین ۴/۲۶

[۱] Electroencephalogram

[۲] Salin

Copyright © 2023 by ISBME, http://www.ijbme.org - All rights reserved
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

با حداقل ۸۰۰ ساعت تجربه‌ی پرواز و دارای گواهی‌نامه‌ی پزشکی فعال برای شرکت در این آزمایش دعوت شده است. از جمله شرایط شرکت در این آزمایش می‌توان به آشنایی شرکت کنندگان با اعداد و حروف انگلیسی، نداشتن بیماری زمینه‌ای و سلامتی کامل جسمی و روانی مانند سالم بودن سیستم شنوایی و گفتاری، عدم داشتن اختلالات عصبی و شناختی، عدم مصرف طولانی مدت داروهای موثر بر سیستم عصبی و عدم وجود سابقه‌ی اعتیاد اشاره کرد. در این آزمایشات داشتن خواب کامل شبانه از حداقل یک روز پیش از انجام آزمایش ضروری بوده و از شرکت کنندگان خواسته شده است تا در روز انجام آزمایش از مصرف الکل و کافئین اجتناب کنند. تصویر یکی از آزمودنی‌ها در حین انجام تسک در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل (۴)- تصویر یکی از خلبانان در حین انجام تسک

۲-۶- داده‌ها

داده‌های به دست آمده از این آزمایش معادل تعداد کاراکترهایی بوده که خلبان درست به خاطر سپرده است. بنابراین تعداد کاراکترهایی که به درستی به خاطر سپرده شده از پاسخ‌های داده شده توسط خلبانان استخراج گردیده و پس از محاسبه‌ی میانگین تعداد کاراکترهای صحیح در هر سطح آزمایش، نتایج اولیه‌ی آزمایش برای هر آزمودنی به صورت شکل (۵) رسم شده است. مطابق با این شکل و مقادیر میانگین تعداد کاراکترهای درست به خاطر سپرده شده، بهبود عمل‌کرد پس از اعمال تحریک در بیش‌تر شرکت کنندگان مشاهده شده است. با این حال باید با استفاده از فرضیه‌های آماری نتایج آزمایش در شرایط مختلف تحریک و سطوح مختلف تسک با هم مقایسه شده و معنی‌دار بودن تاثیر اعمال تحریک مغزی به کمک آزمون‌های آماری بررسی شود.

۲-۷- آزمون‌های آماری

پس از بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون Shapiro–Wilk و با در نظر گرفتن سطح آستانه‌ی ۰/۰۵ نرمال بودن داده‌ها در سه حالت پایه، شم و آندال یعنی با در نظر گرفتن تمام کاراکترها در کنار هم تایید شده و بنابراین از آزمون آماری پارامتری Paired-Samples T-Test جهت مقایسه‌ی میانگین داده‌ها استفاده شده است. اما در بررسی نرمال بودن داده‌ها به تفکیک تعداد کاراکترها، در سطوح آسان‌تر تسک که تعداد کاراکترهای محرک بسیار کم بوده، فرض نرمال بودن داده‌ها تایید نشده چرا که اکثریت شرکت کنندگان در پاسخ‌دهی به محرک‌های مراحل ساده‌تر کاملا موفق بوده و میانگین داده‌ها در مراحل ابتدایی به یک‌دیگر بسیار نزدیک بوده و در نتیجه از آزمون ناپارامتری Wilcoxon-Signed Rank جهت مقایسه‌ی میانگین داده‌ها استفاده شده است. آزمون‌های آماری نام برده شده به صورت بین‌گروهی[۱] (نخست با در نظر گرفتن تمام کاراکترها در کنار هم و سپس به تفکیک تعداد کاراکترها یا همان سطوح مختلف تسک) و هم‌چنین به صورت درون‌گروهی[۲] (به ازای هر آزمودنی و به صورت فرد به فرد) اعمال شده است. پس از مقایسه‌ی عمل‌کرد خلبانان بر اساس میانگین تعداد کاراکترهای درست به خاطر سپرده شده، مقایسات بر حسب میزان درصد تعداد کاراکترهای صحیح نیز انجام شده و هم‌چنین تغییرات ظرفیت حافظه‌ی کاری پس از اعمال تحریک استخراج گردیده و مقایسات مجددا انجام شده که روش محاسبه‌ی هر دو حالت در ادامه شرح داده شده است.

۲-۷-۱- عمل‌کرد خلبانان بر اساس درصد

در این بخش داده‌های هر سطح تسک بر تعداد محرک‌های آن تقسیم و سپس در ۱۰۰ ضرب شده است. بنابراین داده‌های سطح اول تسک که پاسخ آزمودنی به محرک دارای ۴ کاراکتر بوده تقسیم بر عدد ۴ شده، داده‌های سطح دوم تسک که پاسخ به محرک ۶ کاراکتری بوده تقسیم بر ۶ شده و به همین ترتیب تا انتها ادامه داده شده و داده‌های سطح ۶ تسک تقسیم بر عدد ۱۴ شده است. این روش این امکان را فراهم ساخته که مشخص شود هر آزمودنی در هر سطح از تسک و در شرایط مختلف آزمایش به چند درصد از محرک‌ها پاسخ صحیح داده است.

[۱] Across-Subject

[۲] Within-Subject

Copyright © 2023 by ISBME, http://www.ijbme.org - All rights reserved
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

۲-۷-۲- استخراج تغییرات ظرفیت حافظه‌ی کاری

با توجه به متفاوت بودن ظرفیت حافظه‌ی کاری در تمام افراد و تغییرپذیری توانایی هر فرد در انجام تسک باید تغییرات ظرفیت حافظه‌ی کاری خلبانان پس از اعمال تحریک شم و تحریک آندال نسبت به حالت پایه استخراج گردد. این تغییرات با استفاده از تفریق داده‌های مراحل شم و آندال از داده‌های حالت پایه به صورت زیر محاسبه شده است.

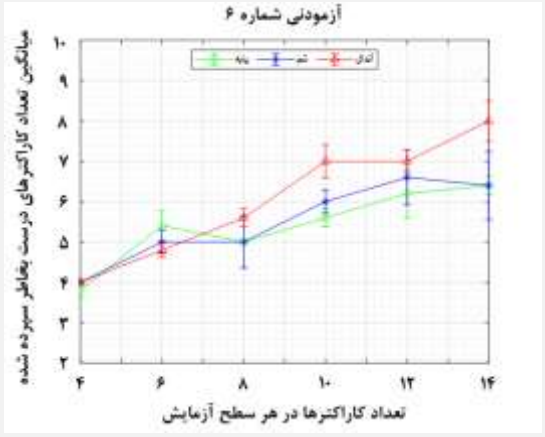
$$NC1 = NC_{sham} - NC_{baseline} \quad (۱)$$

$$NC2 = NC_{tDCS} - NC_{baseline} \quad (۲)$$

در این روابط NC بیان‌گر تعداد کاراکترهای درست به خاطر سپرده شده است. رابطه‌ی (۱) نشان دهنده‌ی تغییرات ظرفیت حافظه‌ی کاری پس از اعمال تحریک شم نسبت به حالت پایه و رابطه‌ی (۲) نشان دهنده‌ی تغییرات ظرفیت حافظه‌ی کاری پس از اعمال تحریک آندال نسبت به حالت پایه است.

۳- یافته‌ها و بحث

پس از استخراج داده‌ها میانگین تعداد کاراکترهایی که به درستی به خاطر سپرده شده محاسبه گردیده و مشابه شکل (۵) به ازای هر آزمودنی رسم شده است. در این شکل نمودار عمل‌کرد یکی از آزمودنی‌ها در سه حالت پایه (سبز)، شم (آبی) و آندال (قرمز) ارائه شده است. در این نمودار، محور افقی نشان دهنده‌ی سطوح مختلف آزمایش و محور عمودی نمایان‌گر میانگین تعداد کاراکترهایی که آزمودنی توانسته درست به خاطر بسپارد است. در این نمودار نوار خطا[۱] نشان دهنده‌ی میانگین خطای استاندارد[۲] است.

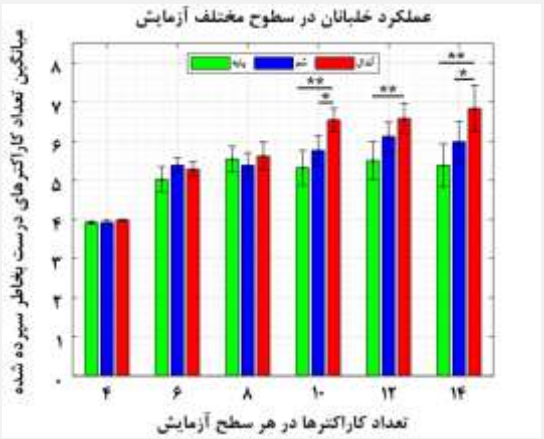


شکل (۵)- تغییرات عمل‌کرد آزمودنی شماره‌ی ۶ در شرایط و سطوح مختلف آزمایش

۳-۱- بررسی عمل‌کرد خلبانان بر اساس مقادیر میانگین تعداد کاراکترهای درست به خاطر سپرده شده

با در نظر گرفتن تمام سطوح، میانگین تعداد کاراکترهای درست به خاطر سپرده شده و میانگین خطای استاندارد در حالت پایه برابر با ۵/۱۱±۰/۳۲، در حالت شم برابر با ۵/۴۲±۰/۲۵ و در حالت آندال برابر با ۵/۸۱±۰/۲۶ به دست آمده است. مقدار پی[۳] به دست آمده از آزمون Paired-Samples T-Test نشان دهنده‌ی تغییرات معنی‌دار در بهبود عمل‌کرد خلبانان در حالت تحریک آندال نسبت به حالت پایه با P<۰/۰۰۰۱ است.

میانگین تعداد کاراکترهای درست به خاطر سپرده شده در سطوح مختلف تسک در شکل (۶) رسم شده است. هدف از رسم این نمودار، مشاهده‌ی روند سختی تسک در سطوح مختلف آزمایش است. با توجه به این شکل، میانگین تعداد کاراکترهای درست به خاطر سپرده شده و میانگین خطای استاندارد در سطح ۴ تسک در حالت پایه برابر با ۵/۳۲±۰/۴۴، در حالت شم برابر با ۵/۷۶±۰/۳۸ و در حالت آندال برابر با ۶/۵۴±۰/۳۰، در سطح ۵ تسک در حالت پایه برابر با ۵/۵۰±۰/۴۸، در حالت شم برابر با ۶/۱۲±۰/۳۶ و در حالت آندال برابر با ۶/۵۸±۰/۳۸ و در سطح ۶ تسک در حالت پایه برابر با ۵/۳۸±۰/۵۴، در حالت شم برابر با ۵/۹۸±۰/۵۱ و در حالت آندال برابر با ۶/۸۴±۰/۵۹ است. مقادیر میانگین به همراه مقدار پی به دست آمده از آزمون Wilcoxon Signed-Rank برای مراحل مختلف آزمایش در شکل (۶) نشان داده شده است.



شکل (۶)- میانگین تعداد کاراکترهای درست به خاطر سپرده شده در سطوح و شرایط مختلف آزمایش

در این شکل محور افقی بیان‌گر سطوح مختلف آزمایش (تعداد کاراکترها)، محور عمودی بیان‌گر مقدار میانگین تعداد

[۱] Error Bar
[۲] Standard Error of the Mean
[۳] P-Value

Copyright © 2023 by ISBME, http://www.ijbme.org - All rights reserved
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

پاسخ‌های صحیح خلبانان، علامت * نشان دهنده‌ی P<۰/۰۵ و علامت ** نشان دهنده‌ی P<۰/۰۱ است. با توجه به این شکل عمل‌کرد خلبانان در سطوح دشوارتر تسک با تعداد کاراکترهای بیش‌تر به طور معنی‌داری بهبود یافته است. بهبود عمل‌کرد خلبانان در سطح سوم تسک و سطوح بعد از آن مشهود است. در نتیجه اعمال ۱۰ دقیقه تحریک الکتریکی مغزی با شدت جریان ۲ میلی‌آمپر در ناحیه‌ی DLPFC چپ، عمل‌کرد حافظه‌ی کاری خلبانان را به طور معنی‌داری بهبود داده است. میانگین تعداد کاراکترهای درست به خاطر سپرده شده و میانگین خطای استاندارد توسط هر آزمودنی نیز محاسبه شده که مطابق آن بهبود عمل‌کرد در حالت تحریک آندال نسبت به حالت پایه در بیش‌تر خلبانان مشهود است. مقدار میانگین تعداد کاراکترهای درست به خاطر سپرده شده در آزمودنی ۴ در حالت پایه برابر با ۳/۳۰±۰/۲۷، در حالت شم برابر با ۴/۳۶±۰/۳۲ و در حالت آندال برابر با ۵/۷۰±۰/۵۳، در آزمودنی ۶ در حالت پایه برابر با ۵/۴۰±۰/۳۸، در حالت شم برابر با ۵/۵۰±۱/۴۵ و در حالت آندال برابر با ۶/۰۶±۰/۶۲ و در آزمودنی ۱۰ در حالت پایه برابر با ۴/۸۶±۰/۲۶، در حالت شم برابر با ۶/۱۳±۰/۷۴ و در حالت آندال برابر با ۶/۵۰±۰/۲۶ به دست آمده است. پس از مقایسه‌ی عمل‌کرد هر آزمودنی در شرایط مختلف آزمایش با استفاده از آزمون Wilcoxon Signed-Rank، تغییرات معنی‌داری در حالت تحریک آندال نسبت به حالت پایه در عمل‌کرد آزمودنی‌های شماره‌ی ۴، ۶ و ۱۰ به ترتیب با مقادیر پی P<۰/۰۰۱، P<۰/۰۵ و P<۰/۰۰۱ مشاهده شده است.

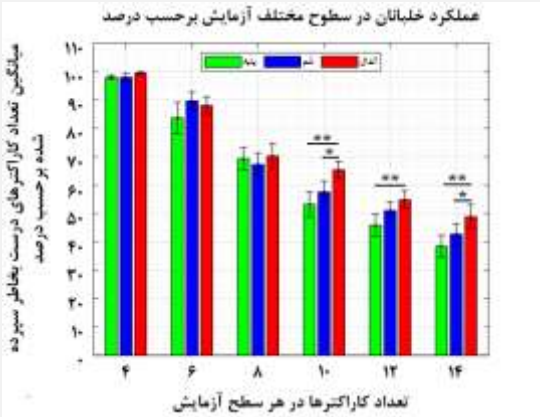
۳-۲- بررسی عمل‌کرد خلبانان بر اساس مقادیر میانگین تعداد کاراکترهای درست به خاطر سپرده شده بر حسب درصد

پس از تبدیل داده‌ها به درصد با تقسیم تعداد کاراکترهای درست به خاطر سپرده شده بر تعداد کاراکترهای محرک در هر سطح (داده‌های سطح ۱ تقسیم بر ۴، سطح ۲ تقسیم بر ۶ و ...) مقایسه‌های آماری انجام شده است. در شکل (۷) میانگین تعداد کاراکترهای درست به خاطر سپرده شده توسط خلبانان در شرایط مختلف تحریک به صورت درصد نشان داده شده است. میانگین تعداد کاراکترهای درست به خاطر سپرده شده و میانگین خطای استاندارد در حالت پایه برابر با ۶۴/۷۳±۳/۲۶، در حالت شم برابر با ۶۷/۷۰±۲/۵۹ و در حالت آندال برابر با ۷۱/۱۴±۲/۴۷ درصد به دست آمده است. مقادیر میانگین و مقدار پی به دست آمده از آزمون Paired-Samples T-Test برای مراحل مختلف آزمایش در شکل زیر ارائه شده است.

شکل (۷)- میانگین تعداد کاراکترهای درست به خاطر سپرده شده در شرایط مختلف آزمایش بر حسب درصد

در شکل بالا محور افقی بیان‌گر شرایط مختلف آزمایش، محور عمودی بیان‌گر میانگین تعداد پاسخ‌های صحیح خلبانان بر حسب درصد و علامت *** نمایان‌گر P<۰/۰۰۰۱ است. با مقایسه‌ی عمل‌کرد آزمودنی‌ها بر اساس درصد و با در نظر گرفتن تمام کاراکترها در کنار هم، تاثیر معنی‌داری از شرایط تحریک آندال نسبت به تحریک شم مشاهده شده است.

مطابق شکل (۸) میانگین تعداد کاراکترهای درست به خاطر سپرده شده و میانگین خطای استاندارد در سطح ۴ تسک در حالت پایه برابر با ۵۳/۲۰±۴/۴۳، در حالت شم برابر با ۵۷/۶۰±۳/۸۲ و در حالت آندال برابر با ۶۵/۴۱±۳/۰۴، در سطح ۵ تسک در حالت پایه برابر با ۴۵/۸۳±۴/۰۵، در حالت شم برابر با ۵۱/۰۰±۳/۰۲ و در حالت آندال برابر با ۵۴/۸۳±۳/۱۷ و در سطح ۶ تسک در حالت پایه برابر با ۳۸/۴۲±۳/۸۹، در حالت شم برابر با ۴۲/۷۱±۳/۶۸ و در حالت آندال برابر با ۴۸/۸۵±۴/۲۲ به دست آمده است. مقادیر میانگین به همراه مقدار پی به دست آمده از آزمون Wilcoxon Signed-Rank برای مراحل مختلف آزمایش در شکل زیر نشان داده شده است.

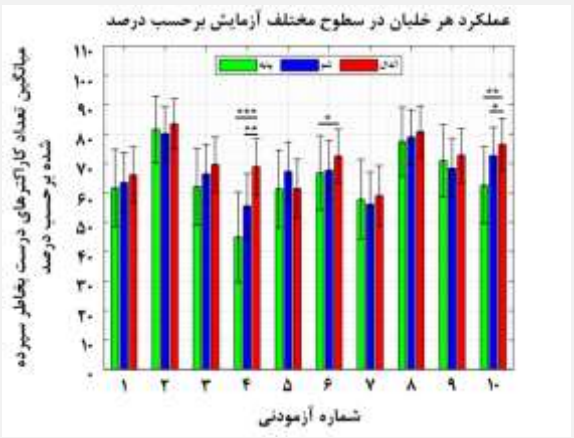


شکل (۸)- میانگین تعداد کاراکترهای درست به خاطر سپرده شده در مراحل و شرایط مختلف آزمایش بر حسب درصد

Copyright © 2023 by ISBME, http://www.ijbme.org - All rights reserved
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

در نمودار فوق محور افقی بیان‌گر سطوح مختلف آزمایش (تعداد کاراکترها)، محور عمودی بیان‌گر میانگین تعداد کاراکترهای صحیح خلبانان بر حسب درصد، علامت * نشان دهنده‌ی P<۰/۰۵ و علامت ** نشان دهنده‌ی P<۰/۰۱ است. مشاهده می‌شود که عمل‌کرد خلبانان در مراحل دشوارتر تسک که تعداد کاراکترها بیش‌تر بوده، به طور معنی‌داری بهبود یافته است.

همان‌طور که در شکل (۹) مشاهده می‌شود مقدار میانگین تعداد کاراکترهای درست به خاطر سپرده شده و میانگین خطای استاندارد در آزمودنی شماره‌ی ۴ در حالت پایه برابر با ۴۵/۰۱±۱۱/۶۹، در حالت شم برابر با ۵۵/۵۸±۸/۶۵ و در حالت آندال برابر با ۷۰/۵±۵/۵۳، در آزمودنی شماره‌ی ۶ در حالت پایه برابر با ۶۶/۸۱±۸/۴۵، در حالت شم برابر با ۶۷/۷۶±۸/۲۰ و در حالت آندال برابر با ۷۲/۵۸±۱۲/۳۵ و در آزمودنی شماره‌ی ۱۰ در حالت پایه برابر با ۶۲/۵۹±۱۰/۲، در حالت شم برابر با ۷۲/۷۱±۶/۳۹ و در حالت آندال برابر با ۷۶/۴۸±۵/۱۹ به دست آمده است. مقادیر میانگین به همراه مقدار پی به دست آمده با استفاده از آزمون Wilcoxon Signed-Rank برای مراحل مختلف آزمایش در شکل زیر ارائه شده است.



شکل (۹)- میانگین تعداد کاراکترهایی که هر آزمودنی درست بخاطر سپرده است در شرایط مختلف آزمایش برحسب درصد

در شکل بالا محور افقی بیان‌گر شماره‌ی آزمودنی‌ها، محور عمودی نشان دهنده‌ی میانگین تعداد پاسخ‌های صحیح خلبانان بر حسب درصد، علامت * نمایان‌گر P<۰/۰۵، علامت ** معرف P<۰/۰۱ و علامت *** نشان دهنده‌ی P<۰/۰۰۰۱ است. با توجه به این شکل، عمل‌کرد خلبانان بر اساس درصد در حالت تحریک آندال نسبت به حالت پایه و شم در بعضی از خلبانان بهبود معنی‌داری یافته است. در مقایسه‌ی حالت تحریک آندال و شم نسبت به حالت پایه در عمل‌کرد آزمودنی‌های شماره‌ی ۴ و ۱۰ تغییرات معنی‌داری مشاهده شده و هم‌چنین تفاوت معنی‌داری در مقایسه‌ی حالات آندال و شم برای آزمودنی شماره‌ی ۴ و تفاوت معنی‌داری میان حالات آندال و پایه برای آزمودنی شماره‌ی ۶ قابل مشاهده است.

۳-۳- بررسی عمل‌کرد خلبانان پس از استخراج تغییرات ظرفیت حافظه‌ی کاری

پس از بررسی تغییرات ظرفیت حافظه‌ی کاری با روش ذکر شده در بخش ۲-۷-۲ و با آزمون Paired-Samples T-Test و با در نظر گرفتن تمام سطوح در کنار هم، تاثیر معنی‌داری با مقدار P<۰/۰۰۱ میان دو حالت شم و آندال و هم‌چنین تاثیر معنی‌داری در سطح ۴ و سطح ۶ آزمایش (محرک ۱۰ و ۱۴ کاراکتری) با مقدار P<۰/۰۵ میان دو حالت شم و آندال به دست آمده است. پس از استخراج تغییرات ظرفیت حافظه‌ی کاری تاثیر معنی‌دار دیگری مشاهده نشده است.

۴-۳- بحث

امروزه با پیدایش رویکردهای کارآمد تقویت انسان و درک اهمیت توانایی‌های شناختی، بهینه‌سازی عمل‌کرد افراد به ویژه در کاربران سیستم‌های پیچیده، توجه محققان زیادی را به خود جلب کرده است. مطالعات گذشته با هدف بهبود حافظه‌ی کاری توانسته‌اند به کمک اعمال تحریکات الکتریکی بر ناحیه‌ی DLPFC چپ، ظرفیت حافظه‌ی کاری افراد را افزایش دهند. بیش‌تر این تحقیقات یافته‌های خود را با بررسی رفتار آزمودنی‌های سالم و یا بیمار در تسک‌های بینایی کلامی یا غیرکلامی نشان داده‌اند اما هم‌چنان اطلاعات اندکی در مورد آزمودنی‌های خلبان موجود است. در طول پرواز، در ارتفاعی با فشار هوای کم، اکسیژن کافی به مغز نرسیده و این موضوع منجر به بروز اختلال در عمل‌کردهای شناختی خلبانان می‌شود. هم‌چنین در خلبانان به دلیل کار در شرایط با بار کاری[1] بالا نیاز به افزایش ظرفیت حافظه‌ی کاری بیش‌تر از سایرین احساس می‌شود. علاوه بر این، زمان‌های متفاوت پرواز برای شاغلان این حرفه خواب ناکافی و نامنظم را به همراه دارد که این امر موجب نقص در کارکردهای شناختی از جمله حافظه‌ی کاری می‌شود. در حین پرواز تعداد نامشخصی از پیغام‌های صوتی دریافت می‌شود و به دلیل کمبود وقت، خلبان ناچار است آن‌ها را به ذهن بسپارد و بازگو کند. از این رو یافتن روشی آسان و در دسترس جهت تقویت حافظه‌ی کاری کلامی-شنیداری کمک شایانی به جامعه‌ی خلبانان می‌کند. بنابراین در این مقاله سعی

[1] Workload

Copyright © 2023 by ISBME, http://www.ijbme.org - All rights reserved
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

شده است تا به کمک رویکردهای تقویت انسان و با هدف کمینه کردن اثرات منفی ناشی از کمبود ظرفیت حافظه‌ی کاری، عمل‌کرد خلبانان بهبود داده شود.

در این مطالعه با هدف بهبود حافظه‌ی کاری خلبان در یک تسک کلامی-شنیداری نشان داده شده است که می‌توان با تحریک ناحیه‌ی DLPFC چپ ظرفیت حافظه‌ی کاری کلامی-شنیداری را افزایش داد. با محاسبه‌ی میانگین تعداد کاراکترهای درست به خاطر سپرده شده و با توجه به نمودارهای رسم شده، بهبود عمل‌کرد حافظه‌ی کاری با در نظر گرفتن خروجی تمام سطوح و هم‌چنین به تفکیک تعداد کاراکترهای محرک و نیز در تمام آزمودنی‌ها مشهود است. بنا بر نتایج ارائه شده توسط فرضیه‌های آماری با توجه به میانگین تعداد کاراکترهای درست به خاطر سپرده شده، با در نظر گرفتن تمام سطوح و تایید نرمال بودن توزیع داده‌ها، آزمون پارامتری Paired-Samples T-Test تاثیر معنی‌داری از تحریک میان حالت‌های آندال و پایه با مقدار P<۰/۰۵ نشان داده است. علاوه بر این با توجه به میانگین تعداد کاراکترهای درست به خاطر سپرده شده بر حسب درصد، با در نظر گرفتن تمام سطوح، تاثیر معنی‌داری از تحریک میان حالت‌های آندال و پایه با مقدار P<۰/۰۰۰۱ مشاهده شده است. هم‌چنین بر اساس سطوح مختلف آزمایش و به ازای مراحل دشوارتر تسک نیز مطابق انتظار تغییرات معنی‌داری مشاهده شده زیرا در مراحل ساده‌تر تسک، اکثریت افراد قادر به انجام تسک بوده و تفاوت‌ها در مراحل دشوارتر تسک نمایان شده است. پس از رد نرمال بودن توزیع داده‌ها، با آزمون ناپارامتری Wilcoxon Signed-Rank در حالت آندال نسبت به پایه، در سطوح ۴، ۵ و ۶ آزمایش با مقدار P<۰/۰۱ و در حالت آندال نسبت به شم در سطوح ۴ و ۶ با مقدار P<۰/۰۵ تغییرات معنی‌داری به دست آمده است. هم‌چنین نتایج آزمون Wilcoxon Signed-Rank در مقایسه‌ی بهبود عمل‌کرد حافظه‌ی کاری بر اثر تحریک بین سطوح ۴، ۵ و ۶ معنی‌دار نیست و نمی‌توان در مورد بهبود متفاوت بین سه سطح آخر نظر داد. علاوه بر این با توجه به میانگین تعداد کاراکترهای درست به خاطر سپرده شده بر حسب درصد و به ازای سطوح مختلف آزمایش، در حالت آندال نسبت به پایه تغییرات معنی‌داری در سطوح ۴ و ۵ با P<۰/۰۱ و در سطح ۶ با P<۰/۰۵ مشاده شده است.

عمده‌ترین چالش و محدودیت در انجام این تحقیق، هماهنگی با خلبانان بوده چرا که عدم خستگی آزمودنی در این مطالعه ضروری بوده و خلبانان باید پیش از شرکت در آزمایش خواب کافی و منظم داشته باشند که این ویژگی در میان خلبانان نادر است و این شرط در تعداد آزمودنی‌ها تاثیرگذار می‌باشد. هم‌چنین جهت واقعی‌تر بودن نتایج از خلبانان با تجربه‌ی حداقل ۸۰۰ ساعت پرواز و دارای گواهی‌نامه‌ی پزشکی فعال دعوت به عمل آمده است. علاوه بر این با توجه به این که برای آماده‌سازی و آموزش آزمودنی تا پایان انجام تسک حداقل به یک ساعت زمان نیاز بوده، برای تعدادی از خلبانان شرکت در این آزمایش مقدور نبوده و تمام این موارد در تعداد نمونه تاثیرگذار بوده است. با این حال این مطالعه شواهدی حاکی از بهبود ظرفیت حافظه‌ی کاری کلامی را نشان داده است.

نتایج این مطالعه می‌تواند انگیزه‌ای برای پیاده‌سازی ایده‌های نو و انجام تحقیقات وسیع‌تر با تعداد نمونه‌ی بالاتر باشد. از آن‌جا که در طول انجام تسک دسترسی به اطلاعات مغزی آزمودنی وجود ندارد و اطلاعاتی در مورد حواس‌پرتی یا هوشیاری آزمودنی موجود نیست، در مطالعات آینده با ثبت و بررسی سیگنال‌های مغزی خلبانان می‌توان اطلاعات مفیدی را از همبستگی میان سیگنال‌های مغز و رفتار آزمودنی نشان داد. هم‌چنین به کمک نتایج مقالات مشابه می‌توان با بهره‌گیری از سایر روش‌های تحریکات مغزی مانند tACS و اعمال تحریک در نواحی دیگری از مغز نتایج قابل تاملی را ارائه داد.

۴- نتیجه‌گیری

در آزمایش بهبود حافظه‌ی کاری خلبان، در سه مرحله ۹۰ محرک شنیداری حاوی اعداد و حروف انگلیسی تصادفی در ۶ سطح از آسان تا دشوار ارائه شده است. مرحله‌ی اول آزمایش بدون اعمال تحریک بوده و در مراحل دوم و سوم پیش از شروع تسک به ترتیب ۳۰ ثانیه تحریک شم و ۱۰ دقیقه تحریک آندال tDCS بر ناحیه‌ی DLPFC چپ اعمال شده است. بهبود معنی‌دار ظرفیت حافظه‌ی کاری خلبانان با توجه به مقادیر میانگین تعداد کاراکترهای درست به خاطر سپرده شده، در شرایط مختلف آزمایش و یا در سطوح مختلف تسک مشاهده شده است. علاوه بر این در تعدادی از خلبانان، تحریک مغزی به طور معنی‌داری باعث بهبود عمل‌کرد شده است. بنابراین اعمال ۱۰ دقیقه تحریک الکتریکی در ناحیه‌ی DLPFC چپ با شدت جریان ۲ میلی‌آمپر می‌تواند ظرفیت حافظه‌ی کاری کلامی-شنیداری خلبانان را به طور معنی‌داری تعدیل[۱] کند. در این تحقیق یکی از نخستین شواهد تقویت توانایی‌های شناختی خلبانان ارائه شده که می‌تواند منجر به ساخت یک اپلیکیشن کاربردی در محیط‌های کاری حساس شود.

[۱] Modulate

Copyright © 2023 by ISBME, http://www.ijbme.org - All rights reserved
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

۵- سپاس‌گزاری

این مطالعه با پشتیبانی ستاد علوم و فناوری‌های شناختی ایران (شماره‌ی گرنت ۱۱۳۹۹) انجام شده است. از آزمایشگاه ملی نقشه‌برداری مغز (NBML) جهت کمک برای اخذ تاییدیه‌ی اخلاق تشکر می‌شود.

۶- مراجع

[1] Wang, C., Guragain, B., Verma, A. K., Archer, L., Majumder, S., Mohamud, A., ... & Tavakolian, K. Spectral Analysis of EEG during Microsleep Events Annotated via Driver Monitoring System to Characterize Drowsiness. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 56(2), 1346-1356, (2019).

[2] Lee, D. H., Jeong, J. H., Kim, K., Yu, B. W., & Lee, S. W. Continuous EEG decoding of pilots' mental states using multiple feature block-based convolutional neural network. IEEE Access, 8, 121929-121941, (2020).

[3] Han, S. Y., Kwak, N. S., Oh, T., & Lee, S. W. Classification of pilots' mental states using a multimodal deep learning network. Biocybernetics and Biomedical Engineering, 40(1), 324-336, (2020).

[4] Zhu, R., Luo, Y., Wang, Z., & You, X. Modality effects in verbal working memory updating: Transcranial direct current stimulation over human inferior frontal gyrus and posterior parietal cortex. Brain and Cognition, 145, 105630, (2020).

[5] Cinel, C., Valeriani, D., & Poli, R. Neurotechnologies for human cognitive augmentation: current state of the art and future prospects. Frontiers in human neuroscience, 13, 13, (2019).

[6] Müller, D., Habe, U., Brodkin, E. S., & Weidler, C. High-definition transcranial direct current stimulation (HD-tDCS) for the enhancement of working memory–A systematic review and meta-analysis of healthy adults. Brain stimulation, 15, 1475, (2022).

[7] Pegher, V., Au, J., Shalchy, M. A., Santarecchi, E., Seitz, A., Jaeggi, S. M., & Battelli, L. The benefits of simultaneous tDCS and working memory training on transfer outcomes: A systematic review and meta-analysis. Brain Stimulation, 15, 1541, (2022).

[8] Hill, A. T., Rogasch, N. C., Fitzgerald, P. B., & Hoy, K. E. Effects of single versus dual-site High-Definition transcranial direct current stimulation (HD-tDCS) on cortical reactivity and working memory performance in healthy subjects. Brain stimulation, 11(5), 1033-1043, (2018).

[9] Jones, K. T., Peterson, D. J., Blacker, K. J., & Berryhill, M. E. Frontoparietal neurostimulation modulates working memory training benefits and oscillatory synchronization. Brain research, 1667, 28-40, (2017).

[10] Karthikeyan, R., Smoot, M. R., & Mehta, R. K. Anodal tDCS augments and preserves working memory beyond time-on-task deficits. Scientific Reports, 11(1), 1-11, (2021).

[11] Karthikeyan, R., Smoot, M. R., & Mehta, R. K. Anodal tDCS augments and preserves working memory beyond time-on-task deficits. Scientific Reports, 11(1), 1-11, (2021).

[12] Moezzi, S., Ghoshuni, M., & Amiri, M. Transcranial direct current stimulation (tDCS) effects on attention enhancement: A preliminary event related potential (ERP) study. Current Psychology, 1-7, (2021).

[13] Hill, A. T., Rogasch, N. C., Fitzgerald, P. B., & Hoy, K. E. Effects of prefrontal bipolar and high-definition transcranial direct current stimulation on cortical reactivity and working memory in healthy adults. Neuroimage, 152, 142-157, (2017).

[14] Nikolin, S., Lauf, S., Loo, C. K., & Martin, D. Effects of high-definition transcranial direct current stimulation (HD-tDCS) of the intraparietal sulcus and dorsolateral prefrontal cortex on working memory and divided attention. Frontiers in integrative neuroscience, 12, 64, (2019).

[15] Naka, M., Matsuzawa, D., Ishii, D., Hamada, H., Uchida, T., Sugita, K., ... & Shimizu, E. Differential effects of high-definition transcranial direct current stimulation on verbal working memory performance according to sensory modality. Neuroscience letters, 687, 131-136, (2018).

[16] Moossavi, A., Mehrkian, S., Najafi, S., & Bakhshi, E. The effectiveness of the combined transcranial direct current stimulation (tDCS) and tailor-made notched music training (TMNMT) on psychoacoustic, psychometric, and cognitive indices of tinnitus patients. American Journal of Otolaryngology, 43(1), 103274, (2022).

[17] Balduin-Philipps, L. S., Weiss, S., & Mueller, H. Supporting auditory word recognition with transcranial direct current stimulation: effects in elderly individuals with and without objective memory complaints. Aging, Neuropsychology, and Cognition, 29(2), 237-259, (2022).

[18] Mark, J. A., Ayaz, H., & Callan, D. E. Simultaneous fMRI and tDCS for Enhancing Training of Flight Tasks. Brain Sciences, 13(7), 1024, (2023).

[19] Nguyen, D. T., & Kaneshiro, B. AudExpCreator: A GUI-based Matlab tool for designing and creating auditory experiments with the Psychophysics Toolbox. SoftwareX, 7, 328-334, (2018).

[20] Faul, F., Erdfelder, E., Buchner, A., & Lang, A. G. (2009). Statistical power analyses using G*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. Behavior research methods, 41(4), 1149-1160.

Copyright © 2023 by ISBME, http://www.ijbme.org - All rights reserved
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License