



Article Type: Research

Effect of transcranial Direct Current Stimulation on attention networks and execution of basketball free throw

Omid Jahansouz¹, Behrouz Abdoli^{*2}, Alireza Fars²,
Reza Khosrowabadi³

1. Department of Physical Education, Farhangian University, P.O. Box 14665- 889, Tehran, Iran.
2. Department of Behavioral Sciences and Cognitive and Sports Technology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
3. Department of Cognitive Psychology, Institute Cognitive Science Studies, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran.

Received: 1402/05/25, **Accepted:** 24/01/2026, **Published:** 22/06/2026

* Corresponding Author: **Behrouz Abdoli**, E-mail: behrouz.abdoli@gmail.com (behrouz.abdoli@sbu.ac.ir)

How to Cite: Abdoli, B; Jahansouz, O; Farsi, A; Khosrowabadi, R. (2026) Effect of transcranial Direct Current Stimulation on attention networks and execution of basketball free throw. *Motor Behavior*, 18(64), 17- 37. [In Persian]. <https://doi.org/10.22089/mbj.2024.15421.2121>

Extended Abstract

Background and Purpose

This study aimed to investigate the effect of transcranial direct current stimulation (tDCS) on attention networks and free throw performance in wheelchair basketball athletes. Utilizing a semi-experimental pre-test, post-test design with a control group, the research included 20 male wheelchair basketball players randomly assigned to either an experimental or control group. The experimental group underwent four sessions of tDCS targeting the left dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC), while the control group received sham stimulation.

The study measured the efficacy of attention networks through the components of alerting, orienting, and executive control using the Attention Network Test (ANT). Additionally, free throw performance in wheelchair basketball was assessed. Data were analyzed using factorial variance analysis. Results demonstrated that the experimental group exhibited significant improvement in the alerting and executive control components of attention networks after tDCS compared to the control group. Moreover, a significant difference was observed in free throw performance between the two groups, suggesting a positive impact of tDCS stimulation on basketball performance.

Therefore, this study suggests that tDCS can serve as a non-invasive method to enhance executive functions of attention and improve sports performance in wheelchair basketball athletes. The procedure is time-efficient and can be easily integrated into athletes' rest or leisure periods.



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Methods

This quasi-experimental study employed a pretest-intervention-posttest design with a control group to evaluate the impact of four consecutive sessions of continuous transcranial electrical stimulation on attention networks and free throw scores in male wheelchair basketball athletes. The population included approximately 500 male wheelchair basketball players affiliated with sports teams. Using convenience sampling, twenty participants were selected and randomly assigned into two groups of ten: experimental and control.

Ethical approval was secured from the Biomedical Research Ethics Committee of Shahid Beheshti University (ethics code IR.SBU.REC.1402.009). Initially, the participants underwent baseline evaluations using the Attention Network Test and the Free Throw Basketball Test. Subsequently, the athletes were randomly assigned to their respective groups.

The intervention involved four daily sessions of tDCS with a 24-hour interval between them. Each session consisted of 20 minutes of stimulation with the anode electrode placed on the F3 area (left DLPFC) and the cathode electrode on the FP2 area. The control group received sham stimulation under the same schedule. After completion of the stimulation sessions, post-tests were conducted utilizing the same assessment tools.

Results

Descriptive statistical analysis indicated that the pre-test mean and standard deviation of free throw scores were 33.50 ± 6.96 for the experimental group and 30.00 ± 7.68 for the control group, revealing no significant baseline difference. However, post-test scores showed an increase to 39.00 ± 7.27 in the experimental group, while the control group's scores remained essentially unchanged at 30.00 ± 7.55 .

A two-way analysis of variance (ANOVA) revealed a statistically significant difference in free throw scores between groups at post-test ($p=0.014$), confirming the intervention's efficacy.

For attention network evaluation, a three-way ANOVA (test phase $\times$ group $\times$ attention component) was conducted. Due to a significant interaction effect, main effects were not interpreted directly. Instead, independent t-tests were used to examine differences within each component between groups. The results showed significant improvements in the alerting component ($p=0.005$) and executive control component ($p=0.021$) in the experimental group compared to controls after stimulation. The orientation component did not show a significant change ($p=0.261$).

Overall, these results substantiate the effectiveness of tDCS in enhancing selective components of the attention network in male wheelchair basketball players.

Conclusion

Selective attention is a critical cognitive function for daily activities, and its improvement is particularly valuable for athletes with disabilities. This study focused on the effects of tDCS on male wheelchair basketball athletes, specifically targeting the left dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC) to assess its impact on attention network components and free throw skill.

The ANT components measured alertness, orientation, and executive control. Significant improvements were documented in alertness and executive control in the experimental group relative to controls, supporting the conclusion that tDCS enhances cognitive performance in this athlete population. This inter-study variation may be due to methodological differences between studies. Also, part of the results of the present study showed that transcranial electrical stimulation of the brain in the dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC) has an effect on the free throw skill of wheelchair basketball athletes. It can be stated that tDCS of the brain has the ability to enhance various motor functions. It should also be noted that, it is likely that different brain regions play an effective role in

limiting or regulating various aspects of athletes' performance, therefore this is a good justification for using tDCS of the brain to improve and enhance the effectiveness of sports performance. On the other hand, it has been shown that the physiological effects of tDCS on the brain are very diverse and depend on individual characteristics. Notably, executive control appears particularly amenable to stimulation effects, potentially influenced by the number of stimulation sessions—a factor that may explain variations between studies.

Additionally, stimulation of the DLPFC positively affected free throw performance, suggesting that tDCS facilitates motor function enhancements. It is also likely that different brain regions regulate distinct aspects of athletic performance, providing rationale for tDCS as a tool to improve sports efficacy.

The physiological consequences of tDCS on the brain are diverse and vary according to individual characteristics, underscoring the need for tailored approaches in future applications.

Keywords: Attention Network, Alerting, Orienting, Executive Control, Transcranial Current Stimulation.

Article Message

The findings demonstrate that transcranial electrical stimulation can positively influence attention network components and basketball free throw ability in wheelchair basketball athletes. As a non-invasive, time-efficient intervention, tDCS can be conveniently applied during athletes' leisure or rest to improve executive attention functions and athletic performance.

Ethical Considerations

This research received ethical clearance from the Biomedical Research Ethics Committee of Shahid Beheshti University ([IR.SBU.REC.1402.009](https://www.sbu.ac.ir/IR.SBU.REC.1402.009)).

Authors' Contributions

Conceptualization, data collection, analysis, manuscript preparation, review, editing, funding, and literature review were conducted collaboratively by Omid Jahansouz, Behrouz Abdoli, Alireza Fars, and Reza Khosrowabadi. Omid Jahansouz also fulfilled the role of project manager. Additional contributions were offered by Saeed Albogbashe.

Conflict of Interest

The authors declare no conflicts of interest.

Acknowledgments

The authors express profound gratitude to all participants, the Federation of Sports for Veterans and Disabled People of the Islamic Republic of Iran, the Sports Board for Veterans and Disabled People of Fars Province, coaches, supervisors, and all individuals whose support was instrumental in conducting this research.



تأثیر تحریک الکتریکی فراجمجه‌ای بر شبکه‌های توجه و اجرای پرتاب آزاد بسکتبال

امید جهانسوز^۱، بهروز عبدلی^{۲*}، علیرضا فارسی^۲، رضا خسروآبادی^۳

۱. گروه آموزش تربیت بدنی، دانشگاه فرهنگیان، صندوق پستی ۸۸۹-۱۴۶۶۵، تهران، ایران.

۲. گروه علوم رفتاری و شناختی در ورزش، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۳. گروه روانشناسی شناختی، پژوهشکده علوم شناختی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۲۵، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۴، تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۴/۰۱

*نویسنده مسئول: بهروز عبدلی، behrouz.abdoli@gmail.com، behrouz.abdoli@sbu.ac.ir

How to Cite: Abdoli, B; Jahansouz, O; Farsi, A; Khosrowabadi, R. (2026) Effect of transcranial Direct Current Stimulation on attention networks and execution of basketball free throw. *Motor Behavior*, 18(64), 17- 37. [In Persian]. <https://doi.org/10.22089/mbj.2024.15421.2121>

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجه‌ای (tDCS) بر شبکه‌های توجه و اجرای پرتاب آزاد بسکتبال با ویلچر انجام شد. روش پژوهش از نوع نیمه تجربی با طرح پیش‌آزمون-پس‌آزمون همراه با گروه کنترل بود. تعداد ۲۰ ورزشکار بسکتبال با ویلچر مرد عضو باشگاه‌های سطح کشور در دو گروه ۱۰ نفره تجربی و کنترل (شم) به صورت تصادفی قرار گرفتند. در این پژوهش تأثیر چهار جلسه (چهار روز متوالی) تحریک tDCS بر قشر خلفی-جانبی پیش-پیشانی چپ بر کارایی شبکه‌های توجه شامل سه مؤلفه هشدار، جهت‌یابی و کنترل اجرایی ارزیابی شده توسط آزمون شبکه توجه (ANT) و نیز پرتاب آزاد بسکتبال بررسی شد. داده‌ها با استفاده از آزمون تحلیل واریانس مرکب تحلیل شد. نتایج نشان داد که از بین سه مؤلفه بررسی‌شده در شبکه توجه، مؤلفه‌های هشدار و کنترل اجرایی، گروه تجربی در مقایسه با گروه کنترل تفاوت معنادار بین قبل و بعد از تحریک فراجمجه‌ای داشت. همچنین تفاوت معنادار در نتایج حاصل از بیست پرتاب آزاد بین دو گروه تجربی و کنترل مشاهده شد که نشان‌دهنده تأثیر تحریک tDCS بر اجرای مهارت پرتاب آزاد در ورزشکاران بسکتبال با ویلچر بود؛ بنابراین استفاده از این روش به‌عنوان یک روش غیرتهاجمی و بدون نیاز به صرف زمان زیاد و در زمان‌های فراغت و حتی استراحت ورزشکاران می‌تواند با هدف بهبود توجه و بهبود عملکرد ورزشی در ورزشکاران بسکتبال با ویلچر به کار رود.

واژگان کلیدی: شبکه توجه، هشدار، جهت‌یابی، کنترل اجرایی، تحریک فراجمجه‌ای مغز.



مقدمه

اکتساب، اجرا و به خاطر سپردن مهارت‌های حرکتی جزء جدانشدنی از زندگی روزمره است. مهارت‌های حرکتی اغلب در محیط‌هایی با نیازهای توجه زیاد انجام می‌شود که نیازمند هماهنگی یکپارچه بین فرایندهای متعدد برای استخراج اطلاعات حسی، یادگیری ویژگی‌های تکلیف، کنترل دستورات حرکتی و تصمیم‌گیری استراتژیک است (۱، ۲). پژوهش‌های حوزه کنترل حرکتی بر عواملی مانند بیومکانیک، کنترل وضعیتی و قیود حرکتی متمرکز شده‌اند که ممکن است با سیستم عصبی عضلانی مرتبط باشند. پژوهش‌های حوزه شناختی نیز بیشتر بر عواملی مانند توجه، حافظه کاری و تصمیم‌گیری متمرکز شده‌اند. نکته مهم این است که براساس شواهد اخیر، عوامل شناختی مختلف ممکن است محدودیت‌های اساسی را بر اکتساب و اجرای حرکات تحمیل کنند (۳). عوامل شناختی ممکن است به‌عنوان بسیاری از فرایندهای استفاده‌شده توسط ارگانیسم برای سازمان‌دهی اطلاعات از جمله ادراک، توجه، حافظه و یادگیری استفاده شود؛ بنابراین تکنیک‌های تقویت شناختی ممکن است هریک از توانایی‌های اصلی شناختی را هدف قرار دهد و می‌تواند با تمرینات ویژه فردی بهبود یابد و این بهبود نشانگر کارایی زیاد شبکه‌های عصبی است (۴).

یکی از عوامل شناختی که مدنظر پژوهشگران حوزه‌های مختلف و از جمله پژوهشگران تربیت‌بدنی قرار گرفته است، توجه است. توجه دربرگیرنده توانایی پردازش فعال یک سری اطلاعات خاص از بین اطلاعات گسترده موجود است که دربرگیرنده حافظه ذخیره‌شده، حواس و سایر فرایندهای شناختی فرد است (۵). داده‌های تصویربرداری از وجود سه شبکه مرتبط با جنبه‌های مختلف توجه از قبیل شبکه‌های اعمال هشدار^۱، جهت‌یابی^۲ و کنترل اجرایی^۳ حمایت می‌کنند. شبکه اعمال هشدار (گوش به زنگی) به‌عنوان کسب و حفظ حالت درونی و حساسیت زیاد برای ورود محرک تعریف می‌شود که شامل تالاموس و مناطق لوب پیشانی و آهیانه‌ای است. جهت‌یابی شامل انتخاب هدفمند اطلاعات از درونداد حسی و همچنین همسو کردن توجه با منبع سیگنال‌های حسی است. کنترل اجرایی شامل کنترل و حل تناقضات در طراحی، تصمیم‌گیری و تعیین خطا و غلبه بر اعمال عادت‌شده است (۶). در همین راستا، مطالعات تصویربرداری عصبی با استفاده از آزمون شبکه توجه^۴ (ANT) توانسته‌اند شبکه هشدار را با فعال‌سازی بخش‌های آهیانه‌ای و پیشانی ارتباط دهند و شبکه جهت‌یابی را به لوب آهیانه‌ای فعال‌شده و میدان‌های دید پیشانی پیوند دهد؛ در حالی که مشخص شده است که عملکرد کنترل اجرایی با فعالیت قشر سینگولیت قدامی و قشر پیش‌پیشانی جانبی (DLPFC) مرتبط است (۷).

در سال‌های اخیر، برای تقویت کارکردهای شناختی مرتبط با اجرای حرکتی، تکنیک‌های غیرتهاجمی و قابل تحمل تحریک مغزی استفاده شده است که می‌توانند منجر به تغییر در فعالیت‌های عصبی و تغییرات نوروپلاستیستی و درنتیجه، ایجاد تغییرات در کارکردهای شناختی و رفتاری شوند (۸). هنگام استفاده از تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای و بسته به هدف، سه نوع تحریک الکتریکی وجود دارد: تحریک الکتریکی مثبت که هدف آن افزایش تحریک‌پذیری عصبی منطقه مدنظر است؛ تحریک الکتریکی منفی که هدف آن کاهش تحریک‌پذیری عصبی منطقه موردنظر است؛ تحریک الکتریکی ساختگی (شم) که ابتدا تحریک کوتاهی در حدود ۶۰ ثانیه صورت می‌گیرد و پس از آن متوقف می‌شود (۹).

-
1. Alerting
 2. Orienting
 3. Executive Control
 4. Attentional Network Test (ANT)

تحریک جریان مستقیم الکتریکی از روی جمجمه به عنوان یک روش ایمن و آسان، بدون درد، قابل حمل و نسبتاً ارزان شناخته شده است که در آن تحریک با شدت کم (۱-۲ میلی آمپر)، به وسیله الکتروود قرار گرفته روی پوست سر به نقاط خاصی از مغز اعمال می شود (۱۰). تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای که اخیراً با عنوان دوپینگ عصبی از آن نام برده می شود، برای القای تغییرات مثبت در نواحی مختلف مغز استفاده شده و نتایج نویدبخشی داشته است (۱۱). از دلایل اثربخشی تحریک سلول‌های سیستم عصبی مرکزی از قبیل تحریک جریان مستقیم الکتریکی از روی جمجمه بر مهارت‌های حرکتی و شناختی افراد، می توان به تقویت رفتار در سطوح بالای شناختی و بهبود در عملکرد سلول‌های عصبی و همچنین به روش‌های تحریک، ناحیه تحریک سلول‌های عصبی، شدت و مدت تحریک اشاره کرد (۱۲).

مطالعاتی که به بررسی تأثیر الکتریکی مغزی بر کارکردهای شناختی می پردازند، عمدتاً به صورت تأثیر تحریکی و مهارتی اند (۱۳). در همین راستا، مارتین و همکاران در پژوهشی که روی ۹۳ فرد سالم بزرگسال انجام دادند، نشان دادند که تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز می تواند موجب بهبود توجه و حافظه کاری شود (۱۴). شمسی و همکاران در پژوهشی به این نتیجه رسیدند که تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز بر کارکردهای اجرایی (توجه پایدار، بازداری پاسخ، انعطاف پذیری شناختی و حافظه کاری تأثیر مثبت دارد (۱۵). ارسطو و همکاران در پژوهشی نشان دادند که تحریک الکتریکی آنودی در ناحیه قشر پیش پیشانی پستی-جانبی سمت چپ (DLPFC) با تحریک دو میلی آمپری موجب بهبود حافظه کاری در ورزشکاران جانباز و معلول می شود (۱۶). از طرفی نیکولین و همکاران در پژوهشی نشان دادند که تحریک الکتریکی مغز در ناحیه قشر پیش پیشانی بر عملکرد حافظه کاری و توجه تقسیم شده تأثیر ندارد (۱۷). همچنین سوکول در پژوهش خود به این نتیجه رسید که تحریک الکتریکی آنودی در ناحیه قشر پیش پیشانی پستی-جانبی سمت چپ (DLPFC) در بهبود عملکرد حافظه کاری اثربخش نیست (۱۸).

با توجه به تأثیر تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز بر بهبود متغیرهای مختلف کارکردهای شناختی، اخیراً به استفاده از این روش در حوزه ورزش و تربیت بدنی نیز استناد شده است؛ از این رو کاربرد تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز از استفاده محدود آزمایشگاهی به جامعه گسترده تر منتقل شده است. نتایج پژوهش‌ها در این حوزه از اثربخشی این نوع مداخله بر بهبود یادگیری مهارت‌های حرکتی، اجرا و انطباق حرکتی حکایت دارد (۲۰، ۱۹). در همین راستا، نقی زاده و همکاران در پژوهشی به این نتیجه رسیدند که تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز بر اجرای مهارت پرتاب آزاد در بسکتبالیست‌های ماهر تأثیر مثبت دارد (۲۱). مودریچ و همکاران در پژوهشی مروری به این نتیجه رسیدند که یک جلسه تحریک الکتریکی آنودی بر نواحی قشر مرتبط با عملکرد حرکتی می تولند منجر به افزایش عملکرد ورزشکاران در تکالیف حرکتی خاص ورزشی شود (۲۲).

با توجه به محدودیت بررسی هم زمان تأثیر تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای بر مؤلفه‌های شناختی (توجه) و حرکتی (اجرای پرتاب آزاد بسکتبال) و همچنین یافته‌های متناقض در اثربخشی تأثیر تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای بر متغیرهای شناختی، پژوهشگر با انجام این پژوهش درصدد بررسی این سؤالات است: پاسخ ورزشکاران بسکتبال با ویلچر (که دارای معلولیت‌های جسمی-حرکتی در گروه‌های مختلف هستند) به این نوع تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای چگونه و در چه سطحی است؟

مهارت‌های مورد نیاز یک ورزشکار در بسکتبال با ویلچر علاوه بر قابلیت‌های فیزیولوژیک و آنترپومتریکی و توانمندی‌های عضلانی، داشتن تمرکز، انعطاف پذیری توجه و تمرکز و دیگر مؤلفه‌های شناختی مرتبط با آن است. همچنین تحریک

الکتریکی فراجمجه ای مستقیم مغز می‌تواند با تأثیر بر نواحی مختلف مغزی کارکردهای این مؤلفه‌های اصلی را تغییر یا بهبود دهد و سطح شناختی و توانایی تمرکز بهتر را افزایش دهد؛ بنابراین هدف این پژوهش بررسی تأثیر تحریک الکتریکی فراجمجه ای مستقیم مغز بر توجه و مؤلفه‌های آن در شبکه‌های توجهی و امتیاز کسب‌شده در بسکتبال با ویلچر بود. هدف پژوهش بررسی تأثیر مؤلفه‌های فرمان از بالا به پایین بود که صرفاً ماهیت ذهنی و شناختی دارند. افزایش مهارت شناختی همچون تمرکز و توجه، نیاز به تمرین و تقویت در شرایط مختلف به‌ویژه مسابقه دارد؛ بنابراین با توجه ویژه به اینکه ناحیه DLPFC چپ نقش هاب مؤثر در شبکه‌های عصبی را بازی می‌کند و تاکنون اثر تحریک الکتریکی فراجمجه ای بر این ناحیه از مغز بر تحریک یا تقویت ورزشکاران دارای معلولیت در پرتاب آزاد بسکتبال بررسی نشده است، پژوهشگر با انجام این مطالعه درصدد بررسی دو موضوع اساسی است: ۱- بررسی تأثیر تحریک الکتریکی مستقیم مغز در ناحیه DLPFC بر تغییرات شبکه‌های توجه و مؤلفه‌های اصلی آن و ۲- بررسی تأثیر تحریک الکتریکی مستقیم مغز در ناحیه DLPFC بر امتیاز کسب‌شده در پرتاب آزاد بسکتبال با ویلچر. پژوهشگر درصدد پاسخ به این سؤال است که آیا با استفاده از تکنولوژی تحریک الکتریکی فراجمجه‌ای می‌توان سطح امتیازات مکتسبه ورزشکاران را ارتقا داد یا خیر.

روش پژوهش

روش این پژوهش از نوع نیمه‌تجربی با طرح پیش‌آزمون-مداخله-پس‌آزمون همراه با گروه کنترل بود.

جدول ۱- مشخصات کلی روش طرح پژوهشی

Table 1 – General characteristics of the research design method

پس‌آزمون Post-test	مداخله Intervention	پیش‌آزمون Pre-test	گروه‌ها/تعداد Groups/Number
1- آزمون مهارت پرتاب آزاد از نقطه پناستی 2- آزمون ANT	tDCS واقعی آند: ناحیه F3 / DLPFC کاتد: FP2 2 میلی‌آمپر 20 دقیقه چهار جلسه متوالی با فاصله 24 ساعت	1- آزمون مهارت پرتاب آزاد از نقطه پناستی 2- آزمون ANT	تجربی 10 نفر
1- آزمون مهارت پرتاب آزاد از نقطه پناستی 2- آزمون ANT	tDCS ساختگی آند: ناحیه F3 / DLPFC کاتد: FP2 2 میلی‌آمپر با 45 ثانیه در ابتدای برنامه چهار جلسه متوالی با فاصله 24 ساعت	1- آزمون مهارت پرتاب آزاد از نقطه پناستی 2- آزمون ANT	کنترل (شم) 10 نفر

جامعه آماری این پژوهش شامل ورزشکاران رشته بسکتبال با ویلچر عضو تیم‌های ورزشی جوانان و بزرگسالان استان‌های ایران بود که تعداد تقریبی آن‌ها حدود ۵۰۰ نفر برآورد شد. نمونه شامل ۲۰ آزمودنی مرد ورزشکار در رشته بسکتبال با ویلچر بود که در دو گروه ده نفری که به صورت نمونه‌گیری در دسترس انتخاب شدند و در دو گروه آزمایش و کنترل به صورت تصادفی، قرار گرفتند. میانگین سن گروه‌های تجربی و کنترل به ترتیب ۲۱/۷ با انحراف استاندارد ۳/۱ سال و ۲۴/۵ با انحراف استاندارد ۴/۸ سال بود. این ورزشکاران بازیکنان تیم‌های ورزشی باشگاهی در رشته بسکتبال با ویلچر از هشت شهر مختلف کشور ایران بودند که داوطلبانه در این طرح شرکت کردند و ارزیابی و آزمون شدند. از این ۲۰ ورزشکار، شش نفر چپ دست

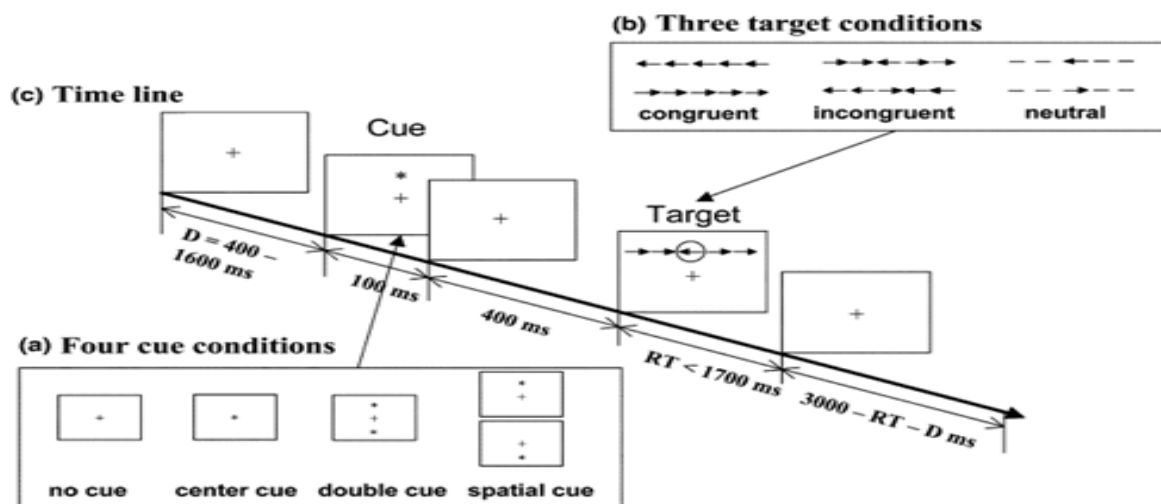
بودند که به صورت هدفمند سه نفر در گروه تجربی و سه نفر در گروه کنترل قرار گرفتند. از تمام آزمودنی‌ها قبل از اجرای پروتکل مداخله آزمون‌های سلامت عمومی GHQ-28 و آزمون DASS21 گرفته شد که مؤلفه‌های استرس و اضطراب و افسردگی را در افراد ارزیابی می‌کنند. از آنجاکه ورزشکاران در رشته بسکتبال با ویلچر براساس نوع و شدت معلولیت دارای امتیاز ورزشی هستند، براساس این امتیازگذاری، هرچقدر که شدت معلولیت آن‌ها بیشتر باشد، امتیاز ورزشی آن‌ها کمتر تعیین می‌شود؛ بر این اساس، امتیاز ورزشکاران با شدت زیاد معلولیت، ۱ و امتیاز ورزشکاران با حداقل میزان معلولیت لازم برای واجد شرایط بودن، ۴/۵ تعیین شد. براساس اطلاعات موجود از آخرین کلاس‌بندی این ورزشکاران، میانگین امتیاز ورزشی گروه‌های تجربی و کنترل به ترتیب ۲/۸۵ و ۲/۴۵ بود. از نظر نوع معلولیت نیز دو گروه در شرایط تقریباً یکسان بودند. گروه‌های معلولیتی ورزشکاران در سه گروه قطع عضو و ضایعات نخاعی و فلج اطفال قرار داشتند. براساس اطلاعات کسب‌شده از خود افراد، مدت‌زمان معلولیت آن‌ها در گروه‌های تجربی و کنترل به ترتیب با میانگین ۱۸ و ۲۲/۴ سال و با انحراف استاندارد ۳/۷ و ۴/۳ سال تا زمان حضور در این طرح پژوهشی بود. براساس اطلاعاتی که از ورزشکاران اخذ شد، تا زمان حضور در این طرح، میانگین و (انحراف استاندارد) طول عمر ورزشی گروه‌های تجربی و کنترل به ترتیب ۸/۸ سال (۴/۳) و ۷/۴ سال (۶/۳) بود. به دلیل حساسیت پژوهش حاضر که روی افراد دارای معلولیت جسمی-حرکتی بود، برای دریافت کد اخلاق اقدام شد. این پژوهش با کد اخلاق IR.SBU.REC.1402.009 توسط کمیته اخلاق پژوهش‌های زیست‌پزشکی دانشگاه شهید بهشتی تأیید شد.

ابزارهای پژوهش

-تست شبکه توجه: الگوی تجربی یا آزمایشگاهی آزمون شبکه توجه (ANT) طی سال‌های اخیر توسعه یافته است تا اقدام به ارزیابی عملکرد سه شبکه توجه و روابط داخلی آن‌ها کند. در هر مرحله ANT، شرکت‌کنندگان به یک نقطه در مرکز صفحه کامپیوتر خیره می‌شوند تا محرک ظاهر شود. محرک شامل یک ردیف از پنج فلش عرضی است. شرکت‌کننده باید جهت فلش مرکزی (هدف) را با فشردن کلید روی صفحه‌کلید و تا حد امکان سریع مشخص کند. زمان پاسخ ثبت می‌شود. چهار فلش هدف را طوری احاطه کرده‌اند که در هر طرف هدف دو فلش قرار دارد. این فلش‌ها فلانکرها^۱ نامیده می‌شوند. این فلش‌ها ممکن است با فلش هدف هم‌جهت (همسو) یا در جهت مخالف (غیرهمسو) باشند. یک شرایط اضافی (شرایط خنثی) نیز وجود دارد که در این حالت فلانکرها شامل چهار خط مستقیم بدون جهت فلش هستند.

1. Flankers

رفتار حرکتی، تابستان ۱۴۰۵، دوره ۱۸، شماره ۶۴



شکل ۱- طراحی از طراحی ANT

Figure 1- A sketch of the ANT design

یک حالت آن است که ردیف محرک در نقطه تثبیت چشم^۱ ارائه نشود. به جای آن می‌تواند در بالا یا پایین آن ظاهر شود؛ بنابراین شرکت‌کننده برای تعیین جهت فلش هدف باید توجه خود را به پایین یا بالا معطوف کند. مورد دیگر، وضعیت نشانه^۲ است. در این حالت ممکن است پیش از ردیف محرک یک نشانه ظاهر شود (وضعیت نشانه‌گذاری شده) و ممکن است نشانه ظاهر نشود (وضعیت نشانه‌گذاری نشده). به طور کلی، زمانی که نشانه وجود دارد، این نشانه ممکن است در مرکز واقع شده باشد (وضعیت نشانه مرکزی)، در بالا یا پایین ظاهر شود (وضعیت نشانه فضایی) یا هم در بالا و هم در پایین نشانه ظاهر شود (وضعیت نشانه دوتایی)؛ بنابراین در وضعیت نشانه فضایی برای ظاهر شدن دقیق پیش‌بینی‌شدنی است، ولی در حالت وضعیت نشانه مرکزی و وضعیت نشانه دوگانه شرکت‌کننده اطلاعات دقیقی از نشانه دریافت نمی‌کند (۲۳).

-آزمون پرتاب آزاد بسکتبال: پرتاب آزاد از نقطه پناستی از مهارت‌های اصلی و بسیار پرکاربرد در ورزش بسکتبال است که در نتیجه تعامل بین اجزای حرکتی و ویژگی‌های فیزیولوژیک با میزان دقت و توجه بازیکن می‌تواند برای کسب امتیاز استفاده شود. در مطالعه حاضر، نحوه اجرای یک مجموعه پرتاب آزاد بسکتبال و میزان امتیاز کسب‌شده از تعداد ۲۰ پرتاب آزاد در دو مرحله قبل از تحریک الکتریکی فراجمجه‌ای و بعد از تحریک الکتریکی فراجمجه‌ای ارزیابی شده است. قبل از شمارش پرتاب‌ها به هر نفر سه پرتاب برای قلق‌گیری داده شد که نتیجه این سه پرتاب در جمع امتیازات کسب‌شده لحاظ نشد. روش امتیازدهی در پرتاب آزاد بسکتبال با ویلچر برگرفته از آزمون دقت در پرتاب بسکتبال ایفرد بود که براساس آن پرتاب‌هایی که بدون برخورد با تخته و حلقه وارد سبد می‌شوند، دارای سه امتیاز و پرتاب‌هایی که با برخورد به تخته یا حلقه وارد سبد می‌شوند، دارای دو امتیاز و پرتاب‌هایی که فقط به تخته یا حلقه برخورد می‌کنند، یک امتیاز و پرتاب‌هایی که با تخته و حلقه بسکتبال برخورد ندارند، دارای صفر امتیاز هستند. برای کم کردن تأثیر عامل خستگی، قید زمان در اجرای آزمون ورزشکاران وجود نداشت و ورزشکاران در میزان مکث و تمرکز و تجدید قوا در اجرای پرتاب‌ها آزاد بودند.

1. Fixation Point

2. Cue

روش اجرا و مداخله

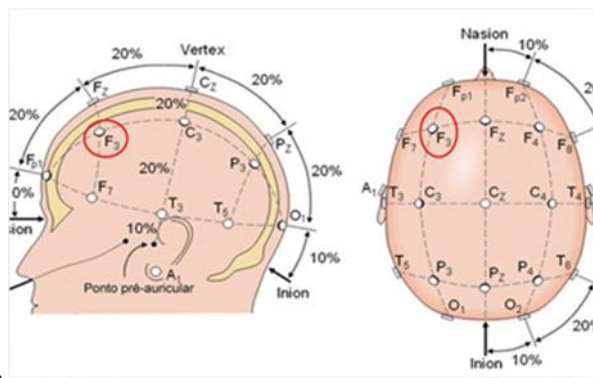
در جلسه توجیهی درمورد نحوه برگزاری آزمون به ورزشکاران توضیحات کامل داده شد و رضایت‌نامه کتبی دریافت شد. سپس از بین شرکت‌کنندگان، افرادی که دارای معیارهای ورود از جمله رضایت آگاهانه برای شرکت در پژوهش، محدوده سن ۱۸ تا ۳۲ سال، مصرف نکردن داروی خاص، نداشتن تشنج، تعیین دست برتر با استفاده از پرسش‌نامه برتری جانبی ادینبرگ (در هر گروه هفت نفر راست‌دست و سه نفر چپ دست) بودند، در طرح پژوهشی وارد شدند. جلسه اول از همه ورزشکاران گروه نمونه آزمون‌های شبکه توجه و پرتاب آزاد بسکتبال گرفته شد. در ادامه افراد به طور تصادفی هدفمند در دو گروه آزمایش و کنترل قرار گرفتند. پس از آن برنامه مداخله‌ای تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز برای هر دو گروه با روش پیش‌بینی شده در پروتکل اجرایی انجام شد. این مداخله به مدت چهار جلسه مداوم هر روز و فاصله بین جلسات ۲۴ ساعت و در هر جلسه به مدت ۲۰ دقیقه تحریک الکتریکی انجام شد. الکتروود آند در منطقه قشر پیش‌پیشانی خلفی جانبی چپ یا F3 (DLPFC) اعمال شد و الکتروود مرجع (کاتد) روی ناحیه FP2 سمت راست در بالای ابروی راست قرار گرفت. درنهایت، پس از اجرای برنامه موصوف در تمام جلسات، با فاصله ۲۴ ساعت بعد از آخرین جلسه تحریک، از شرکت‌کنندگان هر دو گروه، آزمون‌های شبکه توجه و پرتاب آزاد بسکتبال به‌عنوان پس‌آزمون گرفته شد.

پروتکل مداخله (tDCS)

در اجرای پروتکل مداخله این موارد مدنظر قرار گرفت: تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مستقیم tDCS به‌وسیله دستگاه tDCS نورواستیم دو ساخت شرکت مدینا طب کشور ایران در چهار جلسه متوالی با فاصله ۲۴ ساعت بین هر جلسه تحریک و به صورت آفلاین به شیوه دوطرفه غیرمتعادل^۱ اجرا شد. زمان هر نوبت تحریک برای دو گروه تجربی و کنترل (تحریک یا ساختگی) ۲۰ دقیقه در هر جلسه و اندازه تحریک برای هر دو گروه تجربی و کنترل ۲ میلی‌آمپر بود. نقطه تحریک آندی در منطقه F3 (DLPFC) و نقطه تحریک کاتدی منطقه FP2 یا (OFC) واقع در بالای چشم راست آزمودنی بود. شیب تحریک برای گروه تجربی ۳۰ ثانیه بود و برای گروه کنترل در زمان ۴۵ ثانیه به اوج رسید و سپس قطع شد. اندازه الکتروودها ۳/۵ X ۳/۵ در نظر گرفته شد. به‌استثنای یک فرد از گروه کنترل، هیچ فردی در هیچ مرحله از اجرای پروتکل از سردرد پس از تحریک شکایت نداشت. در زمان اجرای تحریک، ورزشکاران در حالت استراحت بودند. برای رسانایی بهتر تحریک از محلول کلرات سدیم ۹ درصد استفاده شد تا ضمن افزایش رسانایی جریان الکتریکی از افزایش حرارت جلوگیری شود. پروتکل‌های مربوط به این مداخله توسط آزمونگر قبل از مداخله از جمله بررسی مشکلاتی مانند صرع، بیماری‌های روانی و همچنین نداشتن سابقه سردرد یا تشنج و بعد از مداخله، مصاحبه با شرکت‌کننده به‌منظور بررسی آثار احتمالی تحریک و تندرستی ورزشکاران انجام گرفت.

1. Bipolar-Nonbalanced

رفتار حرکتی، تابستان ۱۴۰۵، دوره ۱۸، شماره ۶۴



شكل ٢-١٠ - سيستم بين المللي



شکل ۳- دستگاه tDCS نورواستیم ۲

نتائج

برای تحلیل عملکرد در شاخص پرتاب آزاد از آزمون تحلیل واریانس مرکب ۲ (مرحله آزمون) در ۲ (گروه) استفاده شد. پیش‌فرض اول این آزمون برابری ماتریس کوواریانس است. با توجه به معنادار نبودن آزمون ام‌باکس ($P \geq 0.05$)، ماتریس کوواریانس داده‌ها برابر است. پیش‌فرض دوم این آزمون اصل تقارن مرکب است. برای برقراری این اصل از آزمون کرویت موخلی استفاده شد. با توجه به معنادار نبودن آزمون کرویت موخلی ($P \geq 0.05$)، در نوع متغیر و متغیر در مرحله آزمون شاخص‌های (F) مربوط به اثر فرض کرویت گزارش شد.

رفتار حرکتی، تابستان ۱۴۰۵، دوره ۱۸، شماره ۶۴

جدول ۲- نتایج آزمون تحلیل واریانس مرکب ۲ (مرحله آزمون) در ۲ (گروه)

Table 2- Results of the 2 (test phase) ANOVA test in 2 (group)

منبع Source	مجموع مجذورات Sum Sq	درجه آزادی Df	میانگین مجذورات Mean Sq	مقدار F F-Value	معناداری P-Value	مجذور اتا Eta
مرحله Phase	75.625		75.625	5.762	0.027	0.242
مرحله×گروه Phase×Group	75.625		75.625	5.762	0.027	0.242
گروه Group	390.625		390.625	4.083	0.058	0.185

یافته‌های مربوط به آزمون تحلیل واریانس مرکب نشان داد که اثر مرحله ($F_{۳۶,۲}=۵/۷۶$, $P=۰/۰۲۷$, $\eta^2=۰/۲۴$) و اثر تعامل مرحله در گروه ($F_{۳۶,۲}=۵/۷۶$, $P=۰/۰۲۷$, $\eta^2=۰/۲۴$) معنادار بود، اما اثر گروه به‌تنهایی و در سطح $۰/۰۵$ معنادار نبود ($F_{۱۸,۱}=۴/۰۸$, $P=۰/۰۵۸$, $\eta^2=۰/۱۸$). در ادامه برای تحلیل بیشتر از آزمون تعقیبی تی مستقل استفاده شد.

جدول ۳- نتایج آزمون تعقیبی تی مستقل در پرتاب آزاد پیش‌آزمون و پس‌آزمون

Table 3- Results of Independent t-test post hoc on free throw before and after the test

منبع Source	مقدار t t-Value	Df درجه آزادی	معناداری P-Value	تفاوت میانگین Mean Difference
پیش آزمون	1.067	18	0.300	3.50000
پس آزمون	2.714	18	0.014	9.00000

نتایج نشان داد که در پس‌آزمون پرتاب آزاد بین دو گروه اختلاف معناداری وجود داشت ($P=۰/۰۱۴$) که حاکی از اثربخشی فعالیت مداخله‌ای (اعمال تحریک الکتریکی فراجمعه‌ای) بر امتیاز پرتاب آزاد ورزشکاران بسکتبال با ویلچر بود. برای تحلیل عملکرد در شاخص شبکه‌های توجه از آزمون تحلیل واریانس مرکب ۲ (مرحله آزمون) ۲×۳ (گروه) $۳ \times$ (متغیر) استفاده شد. پیش فرض اول این آزمون برابری ماتریس کوواریانس است. با توجه به معنادار نبودن آزمون ام‌باکس ($P \geq ۰/۰۵$)، ماتریس کوواریانس داده‌ها برابر بود. پیش فرض دوم این آزمون اصل تقارن مرکب است. برای برقراری این اصل از آزمون کرویت موخلی استفاده شد. با توجه به معنادار نبودن آزمون کرویت موخلی ($P \geq ۰/۰۵$)، در نوع متغیر و متغیر در مرحله آزمون شاخص‌های (F) مربوط به اثر فرض کرویت گزارش شد. فقط در مرحله آزمون به‌تنهایی با توجه به معناداری آزمون موخلی ($P \leq ۰/۰۵$)، اثر گرین هاوس گریز گزارش شد.

جدول ۴- نتایج آزمون تحلیل واریانس مرکب ۲ (مرحله آزمون) ۲×۳ (گروه) $۳ \times$ (متغیر) در شاخص شبکه‌های توجه

Table 4- Results of the 2 (test phase) $\times$ 2 (group) $\times$ 3 (variable) composite analysis of variance test on the attention network index

منبع Source	مجموع مجذورات Sum Sq	درجه آزادی Df	میانگین مجذورات	مقدار F F	معناداری P-Value	مجذور اتا Eta
----------------	-------------------------	------------------	--------------------	--------------	---------------------	------------------

رفتار حرکتی، تابستان ۱۴۰۵، دوره ۱۸، شماره ۶۴

Eta		F-Value	Mean Sq			
0.787	.0001	66.57	56368.65	2	112737.30	Factor عامل
0.016	0.75	.28	243.35	2	486.71	Factor * Group عامل×گروه
0.365	0.005	10.33	4604.99	1.0	4604.99	Phase مرحله
0.445	0.001	14.41	6422.71	2	6422.71	Phase * Group مرحله×گروه
0.121	0.09	2.48	1003.42	2	2006.85	Factor * Phase عامل×مرحله
0.265	0.004	6.5	2629.90	2	5259.81	Factor * Phase * Group عامل×مرحله×گروه
0.06	0.280	1.239	1585.951	2	1585.951	Group گروه

یافته‌های آزمون تحلیل واریانس مرکب در رابطه با شبکه‌های توجه نشان داد که اثر اصلی متغیر ($\eta^2=0/78$ ، $P=0/0001$ ، $F_{36,2}=66/57$) و اثر اصلی متغیر در گروه ($\eta^2=0/01$ ، $P=0/75$ ، $F_{2,112737.30}=0/28$) معنادار نبود. همچنین اثر مرحله ($\eta^2=0/36$ ، $P=0/005$ ، $F_{10,4604.99}=10/33$) و اثر مرحله در گروه ($\eta^2=0/44$ ، $P=0/001$ ، $F_{2,6422.71}=14/41$) معنادار بود. اثر اصلی متغیر در مرحله ($\eta^2=0/12$ ، $P=0/09$ ، $F_{2,2006.85}=2/48$) و اثر مرحله در گروه ($\eta^2=0/06$ ، $P=0/28$ ، $F_{2,1585.951}=1/239$) معنادار نبود، اما اثر اصلی متغیر در مرحله در گروه ($\eta^2=0/26$ ، $P=0/004$ ، $F_{2,2629.90}=6/5$) معنادار بود، اما اثر گروه به‌تنهایی معنادار نبود ($\eta^2=0/06$ ، $P=0/28$ ، $F_{2,1585.951}=1/239$). به دلیل اینکه اثر تعاملی (متغیر×مرحله×گروه) معنادار بود، از اثرات اصلی صرف‌نظر شد. برای مشخص کردن تفاوت‌های بین دو گروه در درون هر متغیر از آزمون تی مستقل استفاده شد.

جدول ۵- نتایج آزمون تعقیبی تی مستقل در تأثیر تحریک الکتریکی فراجمجمه ای مستقیم بر مؤلفه‌های توجه

Table 5- Results of Post hoc independent t-test on the effect of direct transcranial electrical stimulation on attention components

منبع Source	مقدار t t-Value	درجه آزادی Df	معناداری P-Value	تفاوت میانگین Mean Difference
Preealerting پیش‌آزمون هشدار	1.64	18	0.118	14.93
Postalerting پس‌آزمون هشدار	-3.17	18	0.005	-10.29
Preeconflict پیش‌آزمون کنترل اجرایی	1.85	18	0.081	39.075
Postconflict پس‌آزمون کنترل اجرایی	-2.51	18	0.021	-24.45

12.66	0.244	18	1.2	Postoreanting پیش‌آزمون جهت‌یابی
11.7	0.261	18	1.16	Preeoreanting پس‌آزمون جهت‌یابی

نتایج نشان داد که بین دو گروه در پس‌آزمون متغیر هشدار ($P=0/005$) و در پس‌آزمون متغیر کنترل اجرایی ($P=0/021$) اختلاف معناداری وجود داشت، ولی در پس‌آزمون متغیر جهت‌یابی بین دو گروه اختلاف معناداری مشاهده نشد ($P=0/261$). به طور کلی، نتایج حاکی از اثربخشی فعالیت مداخله‌ای (اعمال تحریک الکتریکی فراجمعه‌ای) بر متغیر شبکه‌های توجه ورزشکاران بسکتبال با ویلچر بود.

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به محرک‌های بسیار زیادی که هر فرد همواره با آن‌ها مواجه می‌شود، زندگی بدون توجه انتخابی قطعاً مشکل است. ورزش و از جمله بسکتبال نیز از این قاعده مستثنا نیست. درحقیقت، عوامل کمی را می‌توان یافت که در اجرای بهتر ورزش از توانایی تمرکز بر نشانه‌های مناسب، مهم‌تر باشند. در محیط ورزشی، چه فرد در حال اجرا و چه در حال یادگیری باشد، توجه به مناسب‌ترین نشانه‌ها، متغیری مهم است (۲۴). هدف اصلی پژوهش حاضر، بررسی اثربخشی تحریک الکتریکی فراجمعه‌ای مغز در ناحیه پیش‌پیشانی جانبی-خلفی (DLPFC) بر عملکرد مؤلفه‌های شبکه‌های توجه و مهارت پرتاب آزاد ورزشکاران بسکتبال با ویلچر بود. عملکرد توجهی، با استفاده از آزمون ANT سنجش شد. مؤلفه‌های این آزمون شامل هشدار، جهت‌گیری و کنترل اجرایی بود. یافته‌های پژوهش نشان‌دهنده تفاوت معنادار گروه‌های تجربی و کنترل در دو مؤلفه از متغیرهای عملکرد شناختی توجه شامل هشدار و کنترل اجرایی توجه است؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تحریک الکتریکی فراجمعه‌ای مغز باعث بهبود و ارتقای عملکرد شناختی در ورزشکاران بسکتبال با ویلچر شده است.

تا جایی که پژوهشگر بررسی و جستجو کرده است، تقریباً هیچ مطالعه‌ای در این زمینه روی گروهی از ورزشکاران رشته ورزشی بسکتبال با ویلچر که دارای دامنه‌ای از مختصات معلولیت باشند، اجرا نشده است؛ لذا با در نظر گرفتن این موضوع و در بررسی فرضیه پژوهش مبنی بر اثرگذاری تحریک الکتریکی فراجمعه‌ای مستقیم بر مؤلفه‌های توجه می‌توان گفت که این نتایج تاحدودی با یافته‌های مطالعات مارتین و همکاران در زمینه تأثیر تحریک الکتریکی فراجمعه‌ای مغز بر توجه و حافظه کاری (۱۴)، شمسی و همکاران در زمینه تأثیر تحریک الکتریکی فراجمعه‌ای مغز بر کارکردهای اجرایی (توجه پایدار، بازداری پاسخ، انعطاف‌پذیری شناختی و حافظه کاری (۱۵)، ارسطو و همکاران در زمینه تأثیر تحریک الکتریکی آنودی در ناحیه قشر پیش‌پیشانی پشتی-جانبی سمت چپ (DLPFC) بر حافظه کاری در ورزشکاران جانباز و معلول (۱۶) و وانگ و همکاران در زمینه تأثیر تحریک الکتریکی فراجمعه‌ای مغز بر عملکرد شناختی در بیماران مبتلا به آلزایمر (۲۵) هم‌راستاست.

در تبیین کارکردهای فیزیولوژیک تحریک جریان مستقیم فراجمعه‌ای بر کارکردهای شناختی باید بیان کرد که یک تکنیک تحریک غیرتهاجمی مغزی ایمن و بدون خطر است که در طیف وسیعی از اختلالات عصبی اثرات مفیدی داشته است (۲۶). در پژوهش حاضر، تحریک الکتریکی از طریق ناحیه قشر پیش‌پیشانی پشتی-جانبی سمت چپ (DLPFC) اعمال شده است، اما پیش‌بینی توزیع جریانی را که به قشر کلی مغز می‌رسد، می‌توان انتظار داشت که از این طریق بتواند بر متغیرهای مختلف مرتبط با مغز از جمله کارکردهای شناختی مرتبط با توجه اثرگذار باشد. در تبیین تأثیر تحریک الکتریکی فراجمعه‌ای

مغز در ناحیه پیش‌پیشانی بر عملکرد شناختی باید گفت که با توجه به اهمیت و نقش ناحیه پیش‌پیشانی بر اعمال شناختی، به نظر می‌رسد تحریک این منطقه، ظرفیت بسیاری در بالابردن سطح عملکردهای شناختی داشته باشد؛ یعنی ممکن است تحریک قشر پیش‌پیشانی باعث افزایش کارکردهای شناختی و تحریک‌پذیری قشری در شبکه‌های مربوط به کارکردهای شناختی شود؛ زیرا این ناحیه با کارکردها و واکنش‌های شناختی درگیر است که خود موجب بهبود عملکرد در شاخص‌هایی از قبیل حافظه، توجه، انعطاف‌پذیری شناختی، برنامه‌ریزی رفتار مبتنی بر هدف، بازداری پاسخ و کنترل مهار می‌شود (۲۷). از طرفی در تحلیل شیوه کلی تأثیر تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز باید بیان کرد که رسوبات آمیلوئید پاتولوژیک منجر به برهم‌خوردن تعادل بین تقویت سلول‌های عصبی و انعطاف‌پذیری سیناپسی می‌شود. طی تحریک الکتریکی، جریان بین الکترودها به مغز می‌رود و مغز را به گونه‌ای تنظیم می‌کند که منطقه زیر تحریک آنودال دچار دپلاریزاسیون و در نتیجه تحریک شود؛ در حالی که ناحیه زیر تحریک کاتودال دچار هایپر پولاریزاسیون شده و در نتیجه مهار می‌شود (۲۸). این اثربخشی می‌تواند شامل تأثیرات تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز بر طیف گسترده‌ای از انتقال‌دهنده‌های عصبی از جمله استیل‌کولین و دوپامین باشد که هر دو در عملکرد و رفتار شناختی نقش دارند (۲۹). همچنین می‌توان گفت که با استفاده از به‌کارگیری تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز در ناحیه DLPFC چپ، می‌توان انتظار داشت که فعالیت پاراسمپاتیک افزایش و از طرفی فعالیت سمپاتیک کاهش یابد و از این طریق انتظار بهبود عملکرد شناختی از قبیل توجه را داشت (۳۰). انتخاب ناحیه قشر پیش‌پیشانی پشتی-جانبی سمت چپ (DLPFC) با توجه به نتایج پژوهش‌های گسترده‌ای بود که در این زمینه صورت گرفته‌اند؛ مبنی بر اینکه این ناحیه را در مؤلفه‌های توجه، مؤثر ذکر کردند؛ اما در مطالعاتی نیز مشاهده شد که ناحیه DLPFC در سمت راست مغز را در این مؤلفه‌ها اثرگذار می‌دانند؛ از جمله ترامبو و همکاران پژوهشی روی ناحیه DLPFC نیمکره راست برای بررسی مؤلفه‌های توجه و تأثیر تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای در مدت ۳۰ دقیقه و در طول یک جلسه انجام دادند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که از بین سه مؤلفه هشدار، جهت‌یابی و کنترل اجرایی توجه، تنها مؤلفه هشدار دستخوش تغییر شد و کوتاه‌شدن زمان عکس‌العمل را به تأثیرگذاری تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای بر ناحیه DLPFC نیمکره راست و در منطقه پیش‌پیشانی-آهیانه‌ای نسبت دادند (۳۱). از سوی دیگر، در پژوهش حاضر تغییرات مشاهده‌شده بر اثرپذیری دو مؤلفه هشدار و کنترل اجرایی توجه در نتیجه تحریک الکتریکی DLPFC سمت چپ دلالت دارد؛ بنابراین تناقض موجود را می‌توانیم به عواملی از قبیل اینکه افزایش تعداد جلسات تحریک احتمال تأثیرپذیری سمت مقابل در نیمکره راست نیز افزایش می‌یابد و نیز عوامل جانبی پیش‌بینی‌ناپذیر و خارج از کنترل اثرگذار بر نتایج حاصل که باعث به‌وجود آمدن نتایج متفاوت شده است، نسبت داد؛ اما مسلم است که مؤلفه کنترل اجرایی توجه در DLPFC سمت چپ مستعد اثرپذیری ناشی از تحریک تعداد جلسات بیشتری است. این تنوع بین‌مطالعه‌ای ممکن است ناشی از تفاوت‌های روش شناختی بین مطالعات باشد. شدت تحریک، محل قرارگیری الکترود مرجع و مدت زمان تحریک اغلب بسیار متفاوت است. چنین عواملی می‌توانند تأثیرات درخور توجهی بر کارایی tDCS به طور کلی داشته باشند؛ اگرچه آن‌ها به طور خاص با توجه به عملکرد اجرایی بررسی نشده‌اند (۳۱).

همچنین بخشی از نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز در ناحیه پیش‌پیشانی جانبی-خلفی (DLPFC) بر مهارت پرتاب آزاد ورزشکاران بسکتبال با ویلچر تأثیر دارد. این نتایج با یافته‌های مطالعات کاسکی و همکاران (۱۹)، ریس و همکاران (۲۰)، نقی‌زاده و همکاران (۲۱) و مودریچ و همکاران (۲۲) همخوان است.

اعتقاد بر این است که می‌توان مکانیسم عملکردی تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز را که منجر به افزایش عملکرد ورزشی می‌شود ارائه کرد، اما چنین نظریه‌ای قبل از تصویب و اجرایی شدن به آزمایش‌های گسترده و دقیق نیاز دارد. چالش مهم پژوهشگران حوزه عصب‌شناسی ورزشی در راستای تعیین اثربخشی تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز بر بهبود عملکردهای ورزشی در شرایط غیرآزمایشگاهی و در محیط واقعی، ارزیابی ایمنی آن به‌خصوص در موقعیت‌های نیازمند استفاده مکرر است؛ از این رو می‌توان بیان کرد که تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز این توانایی را دارد که بتواند موجب تقویت عملکردهای حرکتی مختلف شود. همچنین باید اشاره کرد که با توجه به طی شدن روند پیچیده در طی تمرینات ورزشی، احتمال دارد که مناطق مغزی مختلف نقش مؤثری در ایجاد محدودیت و یا تنظیم کردن موارد مختلف در عملکرد ورزشکاران داشته باشند؛ از این رو این موضوع توجیه مناسبی برای استفاده از تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز به‌منظور ارتقا و اثربخشی عملکرد ورزشی است.

با توجه به شواهد موجود باید اذعان کرد که به دلیل نو بودن روش مداخله‌ای تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز و مشخص نبودن نتایج آن در درازمدت، شواهدی مبنی بر کاربرد مکرر این روش نوآورانه و تأثیرات آن بر سلامت و رفتار درازمدت انسان وجود ندارد. از آنجاکه علت تغییرات ایجادشده در مهارت‌های افراد در اثر تحریک سلول‌های سیستم عصبی مرکزی، مربوط به بهبود در عملکرد سلول‌ها بوده و به تقویت رفتار در سطوح بالای شناختی منجر شده است، نمی‌توان با قطعیت درخصوص ماندگار بودن این تأثیرات موضعی اعلام نظر کرد.

از طرفی مشخص شده است که تحریک الکتریکی آنودی در ناحیه قشر پیش‌پیشانی پستی-جانبی سمت چپ (DLPFC) می‌تواند موجب اصلاح دامنه وسیعی از رفتارها و عملکردهای حرکتی و شناختی شود و اینکه تأثیرات فیزیولوژی اثربخشی tDCS بر مغز بسیار متنوع و به ویژگی‌های فردی وابسته است. به صورت تئوری، تحریک آنودی tDCS موجب انگیختگی عملکرد آن ناحیه می‌شود و بر بهبود عملکرد تأثیر مثبت دارد؛ در حالی که تأثیرات متضاد آن وقتی رخ می‌دهد که الکتروود کاتد روی ناحیه مدنظر، سبب کاهش برانگیختگی در این ناحیه می‌شود. در تبیین این پدیده مشخص شده است که tDCS منجر به کاهش غلظت گابا در قشر حرکتی می‌شود (۳۳، ۳۴).

از طرفی نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های پژوهش نیکولین و همکاران مبنی بر تأثیر نداشتن تحریک الکتریکی مغز در ناحیه قشر پیش‌پیشانی بر عملکرد حافظه کاری و توجه تقسیم‌شده (۱۷)، مطالعه سوکول مبنی بر تأثیر نداشتن تحریک الکتریکی آنودی در ناحیه قشر پیش‌پیشانی پستی-جانبی سمت چپ (DLPFC) در بهبود عملکرد حافظه کاری (۱۸)، ناهمخوان است. این تفاوت‌ها ممکن است علاوه بر ماهیت آزمودنی‌ها به تغییرات پارامترهای خاص مطالعه از جمله مدت زمان تحریک، محل قرارگیری الکترودها، شدت جریان اعمال‌شده، تعداد جلسات اعمال تحریک، زمان‌بندی تحریک، فاصله بین جلسات تحریک، وضعیت جسمانی و شناختی شرکت‌کنندگان در طرح و بررسی یا بررسی نشدن آثار بلندمدت پس از تحریک و ماندگاری آن‌ها مرتبط باشد.

با توجه به نتایج پژوهش حاضر می‌توان اظهار کرد که بررسی تأثیر تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای در جمعیت‌های مختلف می‌تواند در روشن شدن میزان و شکل اثربخشی این مداخله در افراد و گروه‌های مختلف مؤثر باشد. از آنجاکه پژوهش حاضر مطالعه‌ای روی افراد ورزشکار دارای معلولیت بود، به‌نوعی درصدد بررسی تأثیر tDCS بر این گروه از ورزشکاران برآمد؛ هرچند واضح است که تغییرپذیری بین‌مطالعه‌ای نیز ممکن است ناشی از تفاوت‌های روش‌شناختی بین مطالعات باشد.

از محدودیت‌های پژوهش حاضر، دسترسی نداشتن به تعداد نمونه بیشتر و شرکت‌کنندگان با جنسیت زن، با توجه به وضعیت خاص نمونه‌های انتخابی شرکت‌کننده در تحقیق حاضر بود. دیگر محدودیت‌های پژوهش شامل کنترل نشدن نوع خاص معلولیت و یکسان نبودن کلاس‌بندی ورزشی ورزشکاران، کنترل نشدن عوامل تغذیه‌ای و میزان خواب ورزشکاران در طی فرایند پژوهش بود؛ از این رو پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های آتی از پروتکل مشابه با اعمال تحریک الکتریکی جریان مستقیم فراجمجمه‌ای در تعداد جلسات بیشتر استفاده شود و به علاوه، اثرات پایداری تحریک پیگیری شود. همچنین مشابه این پژوهش روی ورزشکاران دیگر رشته‌های ورزشی معلولان و غیرمعلولان انجام پذیرد تا درباره اثربخشی و تعمیم نتایج این نوع مداخله بتوان با قطعیت بیشتری اظهار نظر کرد.

پیام مقاله

نتایج این پژوهش نشان داد که تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز می‌تواند بر مؤلفه‌های شبکه توجه و نیز پرتاب آزاد بسکتبال در ورزشکاران رشته بسکتبال با ویلچر تأثیر بگذارد. استفاده از این روش به عنوان یک روش غیرتهاجمی و بدون نیاز به صرف زمان زیاد و در زمان‌های فراغت و حتی استراحت ورزشکاران می‌تواند با هدف بهبود کارکردهای اجرایی توجه و نیز بهبود عملکرد ورزشی در این گروه از ورزشکاران مدنظر قرار گیرد.

ملاحظات اخلاقی

به دلیل حساسیت پژوهش حاضر که روی افراد دارای معلولیت جسمی-حرکتی بود، برای اخذ کد اخلاق اقدام شد. این پژوهش با کد اخلاق IR.SBU.REC.1402.009 توسط کمیته اخلاق پژوهش‌های زیست‌پزشکی دانشگاه شهید بهشتی تأیید شد.

مشارکت نویسندگان

ایده‌پردازی: امید جهانسوز، بهروز عبدلی، علیرضا فارسی و رضا خسروآبادی
جمع‌آوری داده‌ها: امید جهانسوز و رضا خسروآبادی
تحلیل داده‌ها: امید جهانسوز، بهروز عبدلی، علیرضا فارسی و رضا خسروآبادی
نوشتن مقاله: امید جهانسوز، بهروز عبدلی، علیرضا فارسی و رضا خسروآبادی
بازبینی و ویرایش: امید جهانسوز، بهروز عبدلی، علیرضا فارسی و رضا خسروآبادی
مرور ادبیات: امید جهانسوز، بهروز عبدلی، علیرضا فارسی و رضا خسروآبادی
مدیر پروژه: امید جهانسوز، بهروز عبدلی، علیرضا فارسی و رضا خسروآبادی
هرگونه مشارکت دیگر: سعید آلبوغبیش در انجام تحلیل‌های آماری کمک کرد.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله هیچگونه تعارض منافع ندارد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از همه مشارکت‌کنندگان در این پژوهش، فدراسیون ورزش‌های جانبازان و توانیابان جمهوری اسلامی، هیئت ورزش‌های جانبازان و توانیابان استان فارس، ورزشکاران، مربیان و سرپرستان محترم تیم‌های ورزشی و دیگر افرادی که با مساعدت‌های خود این مسیر را برای محققان هموار کردند، تشکر و قدردانی نمایند.

منابع

1. Clark D, Ivry RB. Multiple systems for motor skill learning. Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science. 2010;1(4):461-7. <https://doi.org/10.1002/wcs.56>
2. Seidler RD, Carson RG. Sensorimotor learning: neurocognitive mechanisms and individual differences. Journal of Neuro Engineering and Rehabilitation. 2017;14:1-7. <https://doi.org/10.1186/s12984-017-0279-1>
3. Gallivan JP, Chapman CS, Wolpert DM, Flanagan JR. Decision-making in sensorimotor control. Nature Reviews Neuroscience. 2018;19(9):519-34. <https://doi.org/10.1038/s41583-018-0045-9>
4. Erickson KI, Colcombe SJ, Wadhwa R, Bherer L, Peterson MS, Scalf PE, Kim JS, Alvarado M, Kramer AF. Training-induced plasticity in older adults: effects of training on hemispheric asymmetry. Neurobiology of Aging. 2007;28(2):272-83.
5. De Brigard F, Prinz J. Attention and consciousness. Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science. 2010;1(1):51-9. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2005.12.012>
6. Kim Y, Denton C, Hoang L, Rush AM. Structured attention networks. arXiv Preprint arXiv:1702.00887. 2017. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1702.00887>
7. Clarke PJ, Browning M, Hammond G, Notebaert L, MacLeod C. The causal role of the dorsolateral prefrontal cortex in the modification of attentional bias: evidence from transcranial direct current stimulation. Biological Psychiatry. 2014;76(12):946-52. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2014.03.003>
8. Shouhiani M, Jalilian M, Parsaei S, Modara F, Seidkhani H. The effect of unilateral and bilateral electrical stimulation of the brain on improving the balance of the elderly. Salmand: Iranian Journal of Ageing. 2020;15(3):312-23. <https://doi.org/10.32598/sija.10.15.3.1895.3> [In Persian].
9. Arastoo AA, Zahednadjad S, Parsaei S, Alboghebish S. The effect of transcranial Direct Current Stimulation on anxiety in Veteran and Disabled Athletes. Medical Journal of Mashhad University of Medical Sciences. 2020;63(3):2278-86. <https://doi.org/10.22038/mjms.2020.16380> [In Persian].
10. Abedanzadeh R, Alboghobish S. The effect of transcranial direct current stimulus on selective attention in dual task paradigm. Journal of Applied Psychological Research. 2017;8(3):1-4. <https://doi.org/10.22059/japr.2017.65032>
11. Ghayebzadeh S, Zardoshtian S, Sabourimoghaddam H, Amiri E, Giboin LS. The effect of different models of transcranial direct current stimulation on impulsivity in sports referees: the role of leadership styles. Sport Psychology Studies. 2022;10(38):1-22. <https://doi.org/10.22089/spsyj.2021.10300.2137> [In Persian].
12. Jacobson L, Koslowsky M, Lavidor M. tDCS polarity effects in motor and cognitive domains: a meta-analytical review. Experimental Brain Research. 2012;216:1-10. <https://doi.org/10.1007/s00221-011-2891-9>

13. Nitsche MA, Boggio PS, Fregni F, Pascual-Leone A. Treatment of depression with transcranial direct current stimulation (tDCS): a review. *Experimental Neurology*. 2009;219(1):14-9. <https://doi.org/10.1016/j.expneurol.2009.03.038>
14. Martin DM, Rushby JA, De Blasio FM, Wearne T, Osborne-Crowley K, Francis H, Xu M, Loo C, McDonald S. The effect of tDCS electrode montage on attention and working memory. *Neuropsychologia*. 2023;179:108462. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2022.108462>
15. Shamsi Holasu M, Tabatabaei SM, Azmodeh M. Comparing the effectiveness of transcranial direct current stimulation and cognitive rehabilitation on the executive functions of children with autism spectrum disorders. *Pajouhan Scientific Journal*. 2023;21(2):113-21. <https://doi.org/10.61186/psj.21.2.113>
16. Arastoo AA, Zahednejad S, Parsaei S, Alboghebish S, Ataei N, Ameriasl H. The effect of direct current stimulation in left dorsolateral prefrontal cortex on working memory in veterans and disabled athletes. *Daneshvar Medicine*. 2020;26(6):25-32. <https://doi.org/10.32598/sija.10.15.3.1895.3> [In Persian].
17. Nikolin S, Lauf S, Loo CK, 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*. 2019;12:64. <https://doi.org/10.3389/fnint.2018.00064>
18. Sokol O. Effects of long-term use of anodal tDCS on working memory: comparing the difference in performance between active and sham anodal tDCS on a dual n-back task over 11 sessions (Master's thesis, NTNU). 2016. <https://hdl.handle.net/11250/2427148>
19. Kaski D, Dominguez RO, Allum JH, Bronstein AM. Improving gait and balance in patients with leukoaraiosis using transcranial direct current stimulation and physical training: an exploratory study. *NeuroRehabilitation and Neural Repair*. 2013;27(9):864-71. <https://doi.org/10.1177/1545968313496328>
20. Reis J, Fritsch B. Modulation of motor performance and motor learning by transcranial direct current stimulation. *Current Opinion in Neurology*. 2011;24(6):590-6. <https://doi.org/10.1097/WCO.0b013e32834c3db0>
21. Naghizadeh Z, Movahedi A, Namazi Zadeh M, Mirdamadi M. Effect of transcranial direct current stimulation on performance of basketball free throws in skilled basketball players. *Motor Behavior*. 2020. Articles in Press. <https://doi.org/10.22089/mbj.2020.8028.1833> [In Persian].
22. Maudrich T, Ragert P, Perrey S, Kenville R. Single-session anodal transcranial direct current stimulation to enhance sport-specific performance in athletes: a systematic review and meta-analysis. *Brain Stimulation*. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2022.11.007>
23. Wang H, Fan J, Johnson TR. A symbolic model of human attentional networks. *Cognitive Systems Research*. 2004;5(2):119-34. <https://doi.org/10.1016/j.cogsys.2004.01.001>
24. Oudejans RR, Van De Langenberg RW, Hutter RV. Aiming at a far target under different viewing conditions: Visual control in basketball jump shooting. *Human Movement Science*. 2002;21(4):457-80. [https://doi.org/10.1016/S0167-9457\(02\)00116-1](https://doi.org/10.1016/S0167-9457(02)00116-1)
25. Wang CS, Cheng KS, Tang CH, Hou NT, Chien PF, Huang YC. 314-Effects of transcranial direct current stimulation (tDCS) on cognitive function in Alzheimer's dementia. *International Psychogeriatrics*. 2020;32(S1):72-. <https://doi.org/10.1017/S1041610220002148>
26. Bikson M, Grossman P, Thomas C, Zannou AL, Jiang J, Adnan T, Mourdoukoutas AP, Kronberg G, Truong D, Boggio P, Brunoni AR. Safety of transcranial direct current stimulation: evidence based update 2016. *Brain Stimulation*. 2016;9(5):641-61. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2016.06.004>
27. Abedanzadeh R, Alboghebish S, Barati P. The effect of transcranial direct current stimulation of dorsolateral prefrontal cortex on performing a sequential dual task: a randomized experimental study. *Psicologia: Reflexão e Crítica*. 2021;34:1-1. <https://doi.org/10.1186/s41155-021-00195-8>

28. Naji AA, Rahimian Boogar I, Hasani Tabatabaei SAH. Comparison of effect of schema therapy and transcranial direct-current stimulation on food craving. *Journal of Clinical Psychology*. 2020;12(2):9-18. <https://doi.org/10.22075/jcp.2020.20089.1852> [In Persian].
29. Khedr EM, Gamal NF, El-Fetoh NA, Khalifa H, Ahmed EM, Ali AM, Noaman M, El-Baki AA, Karim AA. A double-blind randomized clinical trial on the efficacy of cortical direct current stimulation for the treatment of Alzheimer's disease. *Frontiers in Aging Neuroscience*. 2014;6:275. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2014.00275>
30. Benussi A, Dell'Era V, Cosseddu M, Cantoni V, Cotelli MS, Cotelli M, Manenti R, Benussi L, Brattini C, Alberici A, Borroni B. Transcranial stimulation in frontotemporal dementia: a randomized, double-blind, sham-controlled trial. *Alzheimer's & Dementia: Translational Research & Clinical Interventions*. 2020;6(1):e12033. <https://doi.org/10.1002/trc2.12033>
31. Trumbo MC, Coffman BA, Clark VP. The effect of transcranial direct current stimulation (tDCS) on the attention network task (ANT): contextualizing prior research. *Brain Stimulation: Basic, Translational, and Clinical Research in Neuromodulation*. 2014;7(2):e8. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2014.01.030>
32. Vitor-Costa M, Okuno NM, Bortolotti H, Bertollo M, Boggio PS, Fregni F, Altimari LR. Improving cycling performance: transcranial direct current stimulation increases time to exhaustion in cycling. *PLoS One*. 2015;10(12):e0144916. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144916>
33. Yoon JH, Grandelis A, Maddock RJ. Dorsolateral prefrontal cortex GABA concentration in humans predicts working memory load processing capacity. *Journal of Neuroscience*. 2016;36:11788–11794. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1970-16.2016>
34. Michels L, Martin E, Klaver P, Edden R, Zelaya F, Lythgoe D, Lühinger R, Brandeis D, O'Gorman R. Frontal GABA levels change during working memory. *PLoS One*. 2012;7:e31933. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0031933>