

Research Paper

The effect of direct transcranial electrical stimulation (tDCS) in the DLPFC area on performance and visual attention of sitting volleyball players under stressor

Peyman Honarmand<sup>1</sup>, Hasan Gharayaghzandi<sup>2</sup>, Ali Moghadamzadeh<sup>3</sup>, Reza Rostami<sup>4</sup>

1. Ph.D Student in Sport Psychology, University of Tehran, Tehran, Iran.

2. Assistante Professor, Department of Sport Psychology, University of Tehran, Tehran, Iran.

3. Assistant Professor, Department of Curriculum Development & Instruction Methods, University of Tehran, Tehran, Iran.

4. Professor, Department of Clinical Psychology, Faculty of Psychology, University of Tehran, Tehran, Iran.

**Citation:** Honarmand P, Gharayaghzandi H, Moghadamzadeh A, Rostami R. The effect of direct transcranial electrical stimulation (tDCS) in the DLPFC area on performance and visual attention of sitting volleyball players under stressor. J of Psychological Science. 2022; 21(112): 647-662.

URL: <https://psychologicalscience.ir/article-1-1427-fa.html>



ORCID



doi [10.52547/JPS.21.112.647](https://doi.org/10.52547/JPS.21.112.647)

ARTICLE INFO

ABSTRACT

**Keywords:**

Electrical Stimulation,  
DLPFC,  
Accuracy,  
Visual Attention,  
Stressor

**Background:** The difference between the performances of Sports Champions more than other times relates to their mental fitness and one of the important factors affecting mental fitness, physical fitness and even performance is Stressor conditions. Given that tDCS provides potential tools for enhancing performance in many areas, there is limited exploration for complex skills.

**Aims:** The aim of this study was evaluate the effect of direct transcranial electrical stimulation (tDCS) in the DLPFC area on performance and visual attention of sitting volleyball players under Stressor.

**Methods:** In this blind randomized control trial with pre-test-post-test research plan and follow-up period of 2, 4 and 6 days, 24 athletes of the Premier League and national sitting volleyball team of the country were selected as a voluntary participation, and they randomly located in 2 groups of TDCS in the DLPFC region and sham stimulation. The task of the current study was the test of the modified Volleyball Service, in which the participants performed 10 attempts in the pre-test, which visual attention were recorded using the eye tracking device. The intervention phase was performed on 6 consecutive days, in which the participants performed 10 volleyball services every day after the desired exercises. Post-test phase was performed immediately after the intervention. 48 hours after the post-test phase, the first retention phase, 48 hours after the first retention phase, the pressure test phase and 48 hours after the pressure test phase, the second retention phase which was performed in which the participants performed 10 attempts in the pre-test, which visual attention were recorded using the eye tracking device.

**Results:** The results of mixed variance showed that tDCS exercises in DLPFC area have a significant effect on improving service accuracy under normal conditions and pressure test ( $P < 0/01$ ). It also showed that tDCS exercises in DLPFC area have a significant effect on increasing participants' visual attention under normal conditions and pressure testing ( $P < 0/01$ ).

**Conclusion:** In general, the results of the current study emphasize the importance of tDCS in the DLPFC area in improving performance and visual attention and maintaining performance and visual attention in stressful conditions.

Received: 28 Sep 2021

Accepted: 02 Nov 2021

Available: 22 Jun 2022

\* **Corresponding Author:** Hasan Gharayaghzandi, Assistante Professor, Department of Sport Psychology, University of Tehran, Tehran, Iran.

E-mail: Ghzandi110@ut.ac.ir

Tel: (+98) 9123016418

2476-5740/ © 2021 The Authors. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



## Extended Abstract

### Introduction

The studies in sport psychology covers two main objectives: to understand how psychological factors affect the athletic performance of a participant while practicing or competing in sport events. In addition, to understand how participation in sport and exercise events affect the psychological development and well-being of participants (Weinberg & Gould, 2014). One of the roles of sport and exercise psychologists is consulting with athletes and teams to develop psychological skills, for instance through a mental training program, for enhancing athletic performance in trainings and competitions (Vealey, 2007). One of the advanced techniques in this field is transcranial excitation with direct electric current (tDCS), which has shown promising results (Banisi and Magleton, 2013).

tDCS is a non-invasive method in which a weak direct current (1 to 4 mA) is applied to the scalp, using long-term changes in cortical polarity due to polarization and polarity of neurons and the effect Neurotransmitters are produced (Oheno et al., 2008). One of the stimulation regions of tDCS is the DLPFC region. Studies in this area have shown that DLPFC stimulation maintains alertness and attention (McKinley et al., 2013). Stimulation of tDCS in the DLPFC region is also associated with improved visual search (Bolginini et al., 2010). In exercise-based literature, special measurements to efficient visual attention control, quiet eye, have been investigated to objectively assess spatial and temporal coordination of gaze and movement control (visual-motor control) (Vickers, 2009). The quiet eye focuses as a final fixation on a unique place or object that occurs before the critical phase of motion begins and ends with a gaze deviation of more than 3 degrees and a duration of more than 100 milliseconds from the target (Vickers, 2007). The quiet eye has also been adopted as a criterion for controlling optimal visual attention in visual-motor tasks (Vickers, 2016). In the field of tDCS intervention on visual attention or quiet eye, Harris et al. (2019) showed that stimulation of visual and motor cortex and frontal area had no significant effect on visual attention (quiet eye) of

golf put hit. Given that tDCS provides a potential tool for performance enhancement in many areas, there are several gaps in this area. First, with a researcher searching in the databases did not find a study with the effect of tDCS on the performance of sports skills in stressful conditions. Second, there has been limited exploration of complex skills (Zhou et al., 2015). As in the study of Harris et al. (2019), tDCS training had no effect on visual-motor ability (golf put hit). Third, Pixa and Pollock (2018) believe that the impact of tDCS can vary according to the needs of the task, such as the complexity and ability level of the participants. Therefore, more studies in this field in different abilities and different subjects are important. Therefore, considering the effect of visual attention on improving athletic performance and considering the existing necessities due to the contradictions of previous studies, the researcher in this study intends to examine the effect of direct transcranial electrical stimulation (tDCS) in the DLPFC area on the performance and visual attention of volleyball players sitting under stressful conditions.

### Method

The method of the current study was quasi-experimental and the design of the current study was pre-test-post-test and follow-up period of 2, 4 and 6 days. The participants of the current study were 24 athletes of the Premier League and national sitting volleyball team of the country who were selected as a voluntary participation. Participants were randomly assigned to the DLPFC stimulation group (N=12) and the sham group (N=12). In this study, transcranial direct electrical stimulation (tDCS) device was used to electrically stimulate the brain. In addition, the Dikablis Professional Wireless Ergoneers Eye tracking device, made by the German company ERGONEERS, was used to record the participants' visual attention. In addition, the third version of the Mental Readiness Form (Crane, 1994) was used to correct the stress and anxiety created. The task of this research was the modified test of AAHPERD volleyball service for sitting volleyball, which was performed in a standard environment. In this method, the participants performed 10 volleyball service attempts, which used the AAHPERD scoring scale to measure the accuracy of the services. The current

study was performed in five phases: pre-test, post-test, short-term follow-up, stress test and long-term follow-up. Participants performed 10 simple services in the pre-test phase. The intervention phase was performed for 6 consecutive days. The tDCS intervention of the DLPFC region is that the anode electrode is located at F3 and the cathode electrode is placed at F4. Immediately after the last training session (day 6), the post-test phase was performed. 48 hours after the post-test phase, the first (short-term) follow-up phase was performed in which participants performed 10 services. In the test under stress 48 hours after the first (short-term) follow-up phase,

participants performed 10 service attempts under stress with the aim of manipulating the level of cognitive anxiety. 48 hours after the stress test, the third follow-up phase was performed in which the participants performed 10 services. At each phase of the research, at the same time as serving, the participants' visual attention was measured using an eye tracking device. Data analyzed with mixed ANOVA.

## Results

Table 1 presents statistical indicators related to research variables in different groups.

**Table 1. Statistical indicators of accuracy and quiet eye of a simple volleyball service in different groups**

| Variable       | Group | Pre test     | Post test    | First retention | Stress test  | Second retention |
|----------------|-------|--------------|--------------|-----------------|--------------|------------------|
| Accuracy       | PDPFC | 28.41±2.46   | 35.83±2.88   | 35.08±3.34      | 35.50±3.58   | 35.33±2.83       |
|                | Sham  | 29.50±2.81   | 30.66±2.49   | 30.25±2.95      | 27.41±5.16   | 31.00±2.86       |
| Quiet eye (ms) | PDPFC | 452.75±20.97 | 499.16±35.62 | 523.25±38.43    | 494.08±36.75 | 526.00±28.06     |
|                | Sham  | 451.66±31.28 | 450.41±30.87 | 453.25±26.68    | 414.66±47.77 | 452.66±21.76     |

One way ANOVA with repeated measure on the measurement time revealed a significant group by measurement time interaction for accuracy ( $F(4, 56) = 6.30, p < 0.01, \eta^2 = 0.22$ ). Post hoc analyses of the between group effects revealed there was no significant difference between the DLPFC and sham groups at pre-test phase for accuracy ( $p = 0.32$ , mean difference = 1.08). However the DLPFC group had significantly better accuracy at post test phase ( $p < 0.01$ , mean difference = 5.16), first retention phase ( $p < 0.01$ , mean difference = 4.83), stress test phase ( $p < 0.01$ , mean difference = 8.08), and second retention phase ( $p < 0.01$ , mean difference = 4.33). Within group post hoc analyses revealed no significant improvements in accuracy ( $p > 0.05$ ) for the sham group throughout the test phases. However the DLPFC group significantly increased their accuracy from pre test to post test ( $p < 0.01$ ), first retention ( $p < 0.01$ ), stress test ( $p < 0.01$ ), and second retention ( $p < 0.01$ ), and they were able to maintain this increase as there was no significant difference from stress test to post test ( $p > 0.05$ ), first retention ( $p > 0.05$ ) and second retention ( $p > 0.05$ ).

Other results indicated that a significant group by measurement time interaction for quiet eye ( $F(4, 56) = 5.75, p < 0.01, \eta^2 = 0.20$ ). Post hoc analyses of the between group effects revealed there was no

significant difference between the DLPFC and sham groups at pre-test phase for quiet eye ( $p = 0.92$ , mean difference = 1.08). However the DLPFC group had significantly longer quiet eye at post test phase ( $p < 0.01$ , mean difference = 48.73 ms), first retention phase ( $p < 0.01$ , mean difference = 70.00 ms), stress test phase ( $p < 0.01$ , mean difference = 79.41 ms), and second retention phase ( $p < 0.01$ , mean difference = 73.33 ms). Within group post hoc analyses revealed no significant improvements in quiet eye ( $p > 0.05$ ) for the sham group throughout the test phases. However the DLPFC group significantly increased their quiet eye from pre test to post test ( $p < 0.01$ ), first retention ( $p < 0.01$ ), stress test ( $p < 0.01$ ), and second retention ( $p < 0.01$ ), and they were able to maintain this increase as there was no significant difference from stress test to post test ( $p > 0.05$ ), first retention ( $p > 0.05$ ) and second retention ( $p > 0.05$ ).

## Conclusion

The results of the current study can be examined from two aspects. First, the results of the current study showed that direct transcranial electrical stimulation (tDCS) of the DLPFC area has a significant effect on performance and visual attention (quiet eye) of the simple service of sitting volleyball players and improves performance and increased the length of the

participants' quiet eye period. This finding is directly inconsistent with the findings of Harris et al. (2019), but in indirect studies, studies in this area have shown that DLPFC stimulation maintains alertness and attention (McKinley et al., 2013). Stimulation of tDCS in the DLPFC region is also associated with improved visual search (Bolginini et al., 2010). Theories and hypotheses for the effect of tDCS on the performance and learning of sports skills have been reported the most important of which are the simultaneous firing of neural, non-synaptic mechanisms and synaptic mechanisms (Ballard et al., 2019). Second, the results of the current study showed that tDCS stimulation in the DLPFC region did not impair the performance and visual attention (quiet eye) of the participants in the stress test, which resulted in the effect of tDCS stimulation in Emphasizes the DLPFC area in stressful and anxious situations. And tDCS may improve fatigue by reducing intracranial GABA activity. This reduction can act as a compensation for central arousal disorder or allow individuals to regain new motor skills during exercise. Overall, the results of the current study showed that transcranial electrical stimulation from

the DLPFC area has a significant effect on the accuracy and visual attention (quiet eye) of a simple volleyball service and causes a significant increase in accuracy and length of the quiet eye period, and the results were transferred to the stress test.

### Ethical Considerations

**Compliance with ethical guidelines:** The present study extracted from the doctoral dissertation approved by the University of Tehran with the code of ethics IR/SSRI.REC.2021.10630.1147 is approved by the ethics committee in the research of the Institute of Physical Education and Sports Science. This study was conducted following voluntary work and cooperation with the Iran Sports Federation for the Disabled, and after initial interviews with participants and filling out a form of informed consent to participate in this study.

**Funding:** The present study is supported by Cognitive Science and Technologies Council (CSTC).

**Authors' contribution:** The first author was the main researcher of this research and the second author was the Corresponding Author and supervisor. Third and fourth authors were also present as second supervisor and advisor.

**Conflict of interest:** The authors do not express any conflict of interest in this study.

**Acknowledgments:** We appreciate all the participants in this study and the Iran Sports Federation for the Disabled.

## مقاله پژوهشی

## تأثیر تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای (tDCS) ناحیه DLPFC بر عملکرد و توجه دیداری بازیکنان والیبال نشسته تحت شرایط تنشگر

پیمان هنرمند<sup>۱</sup>، حسن غرایق‌زندی\*<sup>۲</sup>، علی مقدم‌زاده<sup>۳</sup>، رضا رستمی<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی دکتری تخصصی روانشناسی ورزش، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۲. استادیار، گروه روانشناسی ورزش، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۳. استادیار، گروه روش‌ها و برنامه‌های آموزشی و درسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۴. استاد، گروه روانشناسی بالینی، دانشکده روانشناسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

## مشخصات مقاله

## چکیده

## کلیدواژه‌ها:

تحریک الکتریکی،

DLPFC،

دقت،

توجه دیداری،

تنشگر

**زمینه:** تفاوت عملکرد قهرمانان ورزشی بیش از زمان‌های دیگر به آمادگی ذهنی آن‌ها مربوط می‌شود و یکی از عوامل مهمی که آمادگی روانی، بدنی و حتی عملکرد را تحت تأثیر قرار می‌دهد شرایط تنشگر است. با توجه به اینکه tDCS وسیله‌ای بالقوه برای افزایش عملکرد در بسیاری از زمینه‌ها فراهم می‌کند، اما اکتشاف محدودی در زمینه توانش‌های پیچیده وجود دارد.

**هدف:** هدف از مطالعه حاضر بررسی تأثیر تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای (tDCS) ناحیه DLPFC بر عملکرد و توجه دیداری بازیکنان والیبال نشسته تحت شرایط تنشگر انجام گرفت.

**روش:** در این شبه‌تجربی و با طرح تحقیق پیش‌آزمون - پس‌آزمون و دوره پیگیری ۲، ۴ و ۶ روزه، ۲۴ ورزشکار لیگ برتری و ملی‌پوش والیبال نشسته کشور به صورت مشارکت داوطلبانه انتخاب، و به صورت تصادفی در ۲ گروه ۱۲ نفری تمرینات tDCS ناحیه DLPFC و تحریک ساختگی قرار گرفتند. تکلیف پژوهش حاضر آزمون سرویس اصلاح شده والیبال ایفرد بود که شرکت‌کنندگان در پیش‌آزمون به اجرای ۱۰ کوشش پرداختند که هم‌زمان با استفاده از دستگاه ردیابی چشم توجه دیداری شرکت‌کنندگان نیز ثبت گردید. مرحله مداخله در ۶ روز متوالی انجام گرفت که در هر روز بعد از تمرینات مورد نظر شرکت‌کنندگان به اجرای ۱۰ سرویس والیبال می‌پرداختند. بلافاصله از مداخله پس‌آزمون اجرا گردید. ۴۸ ساعت بعد از مرحله پس‌آزمون، مرحله یادداری اول، ۴۸ ساعت پس از مرحله یادداری اول، مرحله آزمون تنش و ۴۸ ساعت بعد از مرحله آزمون تنیدگی، مرحله یادداری دوم انجام گرفت که شرکت‌کنندگان در هر یک از مراحل به اجرای ۱۰ سرویس والیبال پرداختند که هم‌زمان با استفاده از دستگاه ردیابی چشم توجه دیداری شرکت‌کنندگان نیز ثبت گردید.

**یافته‌ها:** نتایج آزمون تحلیل واریانس مختلط نشان داد که تمرینات tDCS ناحیه DLPFC بر بهبود دقت سرویس تحت شرایط عادی و آزمون تنیدگی تأثیر معنی‌داری دارد ( $P < 0/01$ ). همچنین نشان داد که تمرینات tDCS ناحیه DLPFC بر افزایش توجه دیداری شرکت‌کنندگان تحت شرایط عادی و آزمون تنش تأثیر معنی‌داری دارد ( $P < 0/01$ ).

**نتیجه‌گیری:** به طور کلی نتایج مطالعه حاضر بر اهمیت tDCS ناحیه DLPFC بر بهبود عملکرد و توجه دیداری و حفظ عملکرد و توجه دیداری در شرایط تنشگر تأکید دارد.

دریافت شده: ۱۴۰۰/۰۷/۰۶

پذیرفته شده: ۱۴۰۰/۰۸/۱۱

منتشر شده: ۱۴۰۱/۰۴/۰۱

\* نویسنده مسئول: حسن غرایق‌زندی، استادیار، گروه روانشناسی ورزش، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

ایانامه: Ghzandi110@ut.ac.ir

تلفن: ۰۹۱۲۳۰۱۶۴۱۸

## مقدمه

مطالعات روانشناسی ورزشی دارای دو هدف اصلی می‌باشند: درک چگونگی تأثیر عوامل روانشناختی بر عملکرد ورزشی شرکت‌کننده در حین تمرین یا شرکت در مسابقات ورزشی؛ همچنین، درک چگونگی تأثیر مشارکت در رویدادهای ورزشی و تمرینی بر توسعه روانی و تندرستی شرکت‌کنندگان (ویبنرگ و گلد، ۲۰۱۴). روانشناسان ورزشی و مربیان ذهنی چندین دهه است که با ورزشکاران و تیم‌ها کار می‌کنند و به آن‌ها در افزایش عملکرد و تندرستی کمک می‌کنند (ویآلی، ۲۰۰۷). در طول سال‌ها، تکنیک‌های متفاوتی برای آموزش عملکرد ورزشی و مهارت‌های روانی به کار گرفته شده است تا به ورزشکاران و مربیان در ورزش‌های مختلف کمک شود (ویالی، ۲۰۰۷). یکی از تکنیک‌های پیشرفته در این زمینه تحریک فراجمجمه‌ای با جریان الکتریکی مستقیم (tDCS) است که این روش نتایج امیدوارکننده‌ای را نشان داده است (بانسی و ماگلتون، ۲۰۱۳).

اخیراً، علاقه به استفاده از tDCS به‌عنوان روشی برای افزایش این کارکردها به دلیل دسترسی آسان به تجهیزات و طیف وسیعی از یافته‌های امیدوارکننده افزایش یافته است (بانسی و ماگلتون، ۲۰۱۳). tDCS روشی غیرتهاجمی است که طی آن جریان مستقیم ضعیفی (۱ تا ۴ میلی‌آمپر) بر پوست سر وارد می‌شود و با استفاده از آن تغییرات بلندمدت در قطبیت قشر مغز در پی ناقطبی سازی و بیش قطبی نوروها و تأثیر بر گیرنده‌های عصبی ایجاد می‌شود (آهن و همکاران، ۲۰۰۸). به‌عبارت‌دیگر، در این نوع تحریک الکتریکی نقاطی از سر با استفاده از جریان‌های ضعیف الکتریکی هدف قرار می‌گیرند و باعث فعال‌سازی یا غیرفعال‌سازی نقطه مورد نظر می‌شوند (سادوک و همکاران، ۲۰۰۹). tDCS نشان داده که می‌تواند به‌عنوان یک ابزار قدرتمند در تعدیل‌سازی و تغییر تحریک‌پذیری مناطق حرکتی درگیر در حرکت استفاده شود. از این‌رو از tDCS به‌عنوان راهبردی برای بهبود عملکرد و یادگیری حرکتی استفاده شده است. یکی از نواحی تحریک tDCS، ناحیه DLPFC می‌باشد. مطالعات در این زمینه نشان داده‌اند که تحریک DLPFC هوشیاری و توجه را حفظ می‌کند (مک‌کینلی و همکاران، ۲۰۱۳). تحریک tDCS در ناحیه DLPFC نیز با بهبود در جستجوی بصری مرتبط است (بولگینی و همکاران، ۲۰۱۰). در همین راستا، مک اینتایر و همکاران (۲۰۱۴) پیشنهاد می‌کنند که تحریک tDCS

در ابتدا موجب افزایش و سپس حفظ عملکرد هوشیاری می‌شود. به‌علاوه پژوهشگران مشخص کردند که تحریک tDCS می‌تواند سرعت و پردازش بصری را سریع‌تر کند (فیوری و همکاران، ۲۰۱۱؛ سابل و همکاران، ۲۰۲۰). در یک مطالعه مروری کوفمن، کلارک و پاراسورامن (۲۰۱۴) نتیجه گرفتند که tDCS می‌تواند یادگیری و حافظه را بهبود بخشد. البته این تحریک می‌تواند عملکردهای شناختی دست بالا مثل توجه، تصمیم‌گیری و حل مسئله را نیز ارتقا دهد. مطالعات اثرات مهارتی و تحریکی tDCS در نواحی مختلف قشر مغز را نشان داده است که متعاقباً هم بر عملکرد حرکتی و هم شناختی و توجه تأثیر می‌گذارد، که منجر به علاقه روزافزون به tDCS به‌عنوان ابزاری برای تمرین شده است (هریس و همکاران، ۲۰۱۹؛ جاکوبسون و همکاران، ۲۰۱۲). تئوری‌ها و فرضیه‌هایی برای تأثیر tDCS بر اجرا و یادگیری مهارت‌ها ورزشی گزارش شده است که از مهمترین آن‌ها می‌توان به شلیک هم‌زمان عصبی، مکانیسم‌های غیر سیناپسی و مکانیسم‌های سیناپسی اشاره نمود (بالارد و همکاران، ۲۰۱۹).

در پیشینه‌های مبتنی بر ورزش، اندازه‌گیری ویژه‌ای برای کنترل توجه دیداری کارآمد، چشم ساکن، برای ارزیابی عینی هماهنگی فضایی و زمانی کنترل خیرگی و حرکت (کنترل دیداری - حرکتی) بررسی شده است (ویکرز، ۲۰۰۹). چشم ساکن به‌عنوان تثبیت نهایی معطوف شده به یک مکان یا شیء منحصر به فرد که قبل از شروع مرحله بحرانی حرکت اتفاق می‌افتد و با انحراف خیرگی با زاویه‌ای بیش از ۳ درجه و مدت زمانی بیش از ۱۰۰ میلی‌ثانیه از هدف، پایان می‌یابد، تعریف شده است (ویکرز، ۲۰۰۷). همچنین چشم ساکن به‌عنوان معیاری برای کنترل توجه دیداری بهینه در تکالیف دیداری - حرکتی اتخاذ شده است (ویکرز، ۲۰۱۶). در زمینه مداخله tDCS بر توجه دیداری یا چشم ساکن، هریس و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که تحریک قشر بینایی و حرکتی و ناحیه فرونتال بر توجه دیداری (چشم ساکن) ضربه پات گلف تأثیر معنی‌داری ندارد.

مشخصه اصلی توانش‌های ورزشی در سطوح عالی، اجرا در اوج عملکرد با داشتن حالت اضطرابی است و محققان به دنبال بررسی این هستند که چگونه اجرا به‌وسیله اضطراب تحت تأثیر قرار می‌گیرد و چگونه یاد می‌گیرند که به سطح بالایی از اضطراب شناختی غلبه کنند (ویلسون و همکاران، ۲۰۱۱). بیشتر توانش‌های حرکتی در محیط‌های پویا و همیشه در حال تغییر تحت شرایط اضطرابی شدید اجرا می‌شوند (بهان و ویلسون،

۴ و ۶ روزه بود. پژوهش حاضر نیز از لحاظ هدف از دسته تحقیقات کاربردی بود. همچنین پژوهش حاضر به لحاظ اجرا به صورت میدانی اجرا گردید. شرکت کنندگان مطالعه حاضر، ۲۴ ورزشکار لیگ برتری و ملی پوش والیبال نشسته کشور بودند که به صورت مشارکت داوطلبانه انتخاب گردیدند. انتخاب این تعداد نمونه بر اساس نرم افزار جی پاور (G \* Power نسخه ۳.۱.۹.۴) با استفاده از آلفای ۵ درصد، بتای ۹۵ درصد و اندازه اثر ۰/۳ بر اساس مقادیر از مطالعاتی که قبلاً انجام شده بود (کیورفورث و همکاران، ۲۰۱۶)، اقتباس گردید. شرکت کنندگان به صورت تصادفی در دو گروه تحریک DLPFC و گروه شام قرار گرفتند. معیارهای ورود مطالعه حاضر شامل دید طبیعی، دید دوچشمی، عدم ویژگی غالب کوررنگی و عدم چشم رنگی و آستیگمات بود. اگر شرکت کنندگان در سه ماه گذشته دچار آسیب چشمی شده بودند، منجر به حذف آن‌ها از مطالعه می‌شد. همچنین اگر بینایی بدتر از ۲۰/۲۰ با استفاده از عدسی‌های تصحیح کننده و/یا در صورت مشاهده یک ویژگی غالب کوررنگ داشتند از شرکت در این مطالعه حذف شدند. علاوه بر این، در صورتی که بیش از ۲ جلسه تمرینات مربوطه را از دست بدهند و افرادی که از ناحیه چشم آسیب دیدند از مشارکت در فعالیت آن‌ها جلوگیری می‌شد. همچنین اگر شرکت کنندگان مایل به کنار کشیدن از مطالعه بودند، از مطالعه حذف شدند.

### ب) ابزار

در این مطالعه، از دستگاه تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای (tDCS) جهت تحریک الکتریکی مغز استفاده گردید. دستگاه مورد استفاده در این پژوهش Dose Active و منبع جریان این دستگاه یک باتری ۹ ولت است. حداکثر شدت جریان ۴ میلی آمپر DC که از طریق اتصال الکترودهایی با قطبیت متفاوت (آند و کاتد) روی پوست سر نصب می‌شوند و جریان ثابت الکتریکی را از روی جمجمه به مغز منتقل می‌کند. در این پژوهش، الکترودها درون پدهای اسفنجی ۳۵ سانتی متر مربع قرار می‌گیرند و سطح پدها با محلول کلرید سدیم ۹ درصد آغشته می‌شود تا ضمن افزایش رسانایی جریان الکتریکی از افزایش حرارت پیشگیری شود، دستگاه از لحاظ شدت جریان، اندازه الکتروود و مدت زمان تحریک قابل کنترل است. مداخله تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای بدین صورت است که

۲۰۰۸). توانایی کنترل توجه و باقی ماندن کانون توجه تحت اضطراب بالا به طور مکرر به عنوان مؤلفه‌های کلیدی موفقیت بحث شده‌اند (جانل، ۲۰۰۲). مشخص شده است مدت زمان چشم ساکن در سطوح بالای اضطراب کاهش می‌یابد (بهان و ویلسون، ۲۰۰۸؛ نیلینگ و همکاران، ۲۰۱۲؛ وین و همکاران، ۲۰۱۳). ویلسون و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که چشم ساکن به افزایش اضطراب شناختی ناشی از تنش رقابتی حساس است؛ کنترل خیرگی بازیکنان بسکتبال به شدت تحت تأثیر قرار گرفت، که در نتیجه منجر به کاهش مدت زمان چشم ساکن شد. باین وجود نشان داده شده است که افزایش مدت زمان چشم ساکن، مداخله مؤثری برای مقابله با تنش است. وین و همکاران (۲۰۱۲). نشان دادند که اثرات نامطلوب اضطراب در عملکرد تحت تنش با استفاده از تمرینات چشم ساکن، و حفظ مدت زمان چشم ساکن خنثی می‌گردد.

با توجه به اینکه tDCS وسیله‌ای بالقوه برای افزایش عملکرد در بسیاری از زمینه‌ها فراهم می‌کند، اما شکاف‌های متعددی در این زمینه وجود دارد. اول اینکه با جستجوی محقق در پایگاه‌های اطلاعاتی، مطالعه‌ای با تأثیر tDCS بر عملکرد مهارت‌های ورزشی در شرایط تنشگر یافت نگردید. دوم اینکه اکتشاف محدودی در زمینه مهارت‌های پیچیده وجود داشته است (ژو و همکاران، ۲۰۱۵). همان‌طور که در تحقیق هریس و همکاران (۲۰۱۹) نیز تمرینات tDCS بر توانش دیداری - حرکتی (ضربه پات گلف) تأثیری نداشت. سوم اینکه، پیکسا و پولوک (۲۰۱۸) معتقدند تأثیر tDCS با توجه به نیازهای تکلیف مانند پیچیدگی و سطح توانش شرکت کنندگان می‌تواند، متفاوت باشد. بنابراین بررسی‌های بیشتری در این زمینه در توانش‌های مختلف و آزمودنی‌های مختلف دارای اهمیت می‌باشد. در نتیجه با توجه به اثر توجه دیداری در بهبود عملکرد ورزشی و با توجه به ضرورت‌های موجود با توجه به تناقضات مطالعات پیشین، محقق در این تحقیق درصدد است تا به اثربخشی تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای (tDCS) ناحیه DLPFC بر عملکرد و توجه دیداری بازیکنان والیبال نشسته تحت شرایط تنشگر پردازد.

### روش

**الف) طرح پژوهش و شرکت کنندگان:** روش پژوهش حاضر شبه تجربی و طرح پژوهش حاضر پیش‌آزمون - پس‌آزمون و دوره پیگیری ۲،

اهداف تحقیق و نحوه امتیازدهی و اجرای آزمون‌های مورد نظر آشنا گردیدند. مطالعه حاضر در پنج مرحله پیش‌آزمون، پس‌آزمون، پیگیری کوتاه‌مدت، آزمون تنش (استرس) و پیگیری بلندمدت اجرا گردید. مرحله پیش‌آزمون

در شرایط عادی از شرکت‌کنندگان خواسته شد که حداکثر تلاش خود را جهت به دست آوردن حداکثر امتیاز ممکن را صرف نمایند. بعد از ایجاد شرایط موردنظر، شرکت‌کنندگان در مرحله پیش‌آزمون به اجرای ۱۰ سرویس ساده پرداختند که دقت توسط محقق ثبت شد. علاوه بر این، هم‌زمان با زدن سرویس، دستگاه ردیابی چشم روی چشم شرکت‌کنندگان قرار گرفت تا توجه آن‌ها حین سرویس زدن ثبت گردد.

مرحله مداخله

مرحله مداخله در ۶ روز متوالی انجام گرفت. مطالعات قبلی نشان دادند روند شش‌روزه اثرات امیدوارکننده‌ای را به دنبال دارد و از آن می‌توان به عنوان روندی مؤثر سود جست (رایگلی و همکاران، ۲۰۱۳).

مداخله tDCS ناحیه DLPFC بدین صورت است که الکتروود آند در محل F3 و الکتروود کاتد در محل F4 قرار گرفتند. برای یافتن دونقطه سیستم بین‌المللی ۲۰-۱۰ به کار گرفته شد. در این مطالعه، از تحریک الکتریکی با جریان ۱/۵ میلی‌آمپر و به مدت ۱۵ دقیقه با پدهای اسفنجی به ابعاد ۵\*۷ استفاده شد (جان و هان، ۲۰۱۲). جریان ۱/۵ میلی‌آمپر به مدت ۱۵ دقیقه می‌تواند روی فاکتورهای شناختی اثر تسهیل‌کننده داشته باشد (تسنگ و همکاران، ۲۰۱۲)، و یک اثر تحریکی تا ۹۰ دقیقه را ایجاد می‌کند (نیچچه و پاولوس، ۲۰۰۱). مداخلات برای آزمودنی‌ها شامل تحریک الکتریکی آندی و تحریک الکتریکی شم بود. بدین صورت که در تحریک الکتریکی آندی جریان مستقیم ۱/۵ میلی‌آمپر در تمام طول مدت جلسه به فرد وارد می‌شود و تحریک الکتریکی شم بعد از اتصال الکتروودها جریان الکتریکی ۱/۵ میلی‌آمپر به فرد وارد می‌شود. اما بعد از گذشت ۳۰ ثانیه بدون اینکه به فرد اطلاعی داده شود، جریان الکتریکی قطع شد. آزمودنی‌ها از قرار گرفتن در گروه کنترل و یا آزمایش اطلاعی نداشتند (بشارت و همکاران، ۲۰۱۵). بعد از مداخله تحریک الکتریکی آندی و شم در هر جلسه شرکت‌کنندگان به تمرین یک بلوک ۱۰ تایی سرویس پرداختند.

الکتروود آند و کاتد در گروه تحریک DLPFC در محل F3, F4 قرار گرفت. برای یافتن نقاط سیستم بین‌المللی ۲۰-۱۰ به کار گرفته شد. در این مطالعه، از تحریک الکتریکی با جریان ۱/۵ میلی‌آمپر و به مدت ۱۵ دقیقه با پدهای اسفنجی به ابعاد ۵\*۷ استفاده شد (جتون و هان، ۲۰۱۲). جریان ۱/۵ میلی‌آمپر به مدت ۱۵ دقیقه می‌تواند روی فاکتورهای شناختی اثر تسهیل‌کننده داشته باشد (تسنگ و همکاران، ۲۰۱۲)، و یک اثر تحریکی تا ۹۰ دقیقه را ایجاد می‌کند (نیچچه و پاولوس، ۲۰۰۱). همچنین، از دستگاه ردیابی حرکات چشم (Ergoneers Eye tracking) مدل Dikablis Professional Wireless ساخت کمپانی ERGONEERS کشور آلمان که نقطه خیرگی در هر لحظه را با فرکانس ۶۰ هرتز ثبت می‌کند، برای ثبت توجه دیداری شرکت‌کنندگان استفاده شد. این سیستم شامل عینک مجهز به دوربین و دستگاه ضبط پورتابل بود. داده‌های به دست آمده از طریق سیستم وایرلس به صورت نوار ویدئویی به کامپیوتر دارای قابلیت اتصال فرستاده می‌شود. به منظور ثبت حرکات و تغییرات چشم از نرم‌افزار DLab و سیستم پردازش اطلاعات ساخت این کمپانی استفاده شد (کوئر فورث و همکاران، ۲۰۱۶). در این مطالعه میزان توجه دیداری (چشم ساکن) شرکت‌کنندگان برحسب میلی‌ثانیه بود. علاوه بر این، از نسخه سوم فرم آمادگی ذهنی (کرین، ۱۹۹۴) برای صحت استرس و اضطراب ایجاد شده استفاده گردید. این مقیاس نسخه کوتاه شده پرسشنامه اضطراب حالتی رقابتی ۲ می‌باشد (کرین، ۱۹۹۴). این مقیاس دارای روایی هم‌زمان به میزان ۰/۷۶ برای اضطراب شناختی، ۰/۶۹ برای اضطراب جسمانی و ۰/۶۸ برای اعتماد به خود می‌باشد (ویلسون و همکاران، ۲۰۰۹). این مقیاس در ۳ سؤال با اندازه‌گیری ۱۱ لیکرت از نگران تا عدم نگرانی برای اضطراب شناختی، شدید تا آسان برای اضطراب جسمانی و از مطمئن تا عدم اطمینان برای اعتماد به خود می‌باشد. نمرات ثبت شده بین ۸ تا ۱۱ نشان دهنده اضطراب و استرس ایجاد شده در شرکت‌کنندگان می‌باشد (کازر و همکاران، ۲۰۱۱). تکلیف این پژوهش آزمون تعدیل شده سرویس والیبال ایفرد برای والیبال نشسته بود که در محیط استاندارد انجام شد. در این روش شرکت‌کنندگان به اجرای ۱۰ کوشش سرویس والیبال نمودند که برای سنجش دقت سرویس‌ها از مقیاس نمره گذاری ایفرد استفاده شد.

روش گردآوری مطالعه حاضر به روش میدانی بود. در ابتدا از شرکت‌کنندگان رضایت‌نامه آگاهانه کتبی کسب شد. سپس شرکت‌کنندگان با



مرحله پس از آزمون

بلافاصله بعد از آخرین جلسه تمرینی (روز ششم) مرحله پس از آزمون انجام گرفت که در آن شرکت کنندگان اقدام به اجرای ۱۰ سرویس نمودند که دقت توسط محقق ثبت شد. علاوه بر این، هم‌زمان با زدن سرویس، دستگاه ردیابی چشم روی چشم شرکت کنندگان قرار گرفت تا توجه آن‌ها حین سرویس زدن ثبت گردد.

مرحله آزمون‌های پیگیری

آزمون‌های پیگیری بر اساس مطالعه مروی وین و همکاران (۲۰۱۱) انجام گرفت. با توجه به استدلال پیکسا و پولوک (۲۰۱۸) که معتقدند تأثیر tDCS با توجه به نیازهای تکلیف می‌تواند، متفاوت باشد، و با توجه به اینکه توانش مطالعه حاضر تکلیف شناختی - حرکتی می‌باشد و یک توانش مجرد است پیگیری‌ها به صورت ذیل انجام گرفت:

پیگیری اول (کوتاه مدت) (۴۸ ساعت بعد از پس از آزمون)

۴۸ ساعت بعد از مرحله پس از آزمون، مرحله پیگیری اول (کوتاه مدت) انجام گرفت که در آن شرکت کنندگان اقدام به اجرای ۱۰ سرویس نمودند و دقت توسط محقق ثبت شد. علاوه بر این، هم‌زمان با زدن سرویس، دستگاه ردیابی چشم روی چشم شرکت کنندگان قرار گرفت تا توجه آن‌ها حین سرویس زدن ثبت گردد.

پیگیری دوم یا آزمون تنش (۴۸ ساعت بعد از پیگیری اول)

در مرحله آزمون تحت تنش ۴۸ ساعت بعد از مرحله پیگیری اول (کوتاه مدت) شرکت کنندگان به اجرای ۱۰ کوشش سرویس در شرایط تحت تنش باهدف دست کاری سطح اضطراب شناختی پرداختند. دقت سرویس توسط محقق ثبت شد. علاوه بر این، هم‌زمان با زدن سرویس، دستگاه ردیابی چشم روی چشم شرکت کنندگان قرار گرفت تا توجه آن‌ها حین سرویس زدن ثبت گردد. از روش مقایسه اجتماعی و تهدید ارزیابی

که منجر به افزایش اضطراب شناختی می‌گردد (باومیستر و همکاران، ۱۹۸۶)، استفاده شد. به این صورت که ابتدا به شرکت کنندگان گفته شد که عملکرد آن‌ها باهم تیمی آن‌ها مقایسه می‌شود. البته این مقایسه توسط مربی انجام می‌شود. حتی به شرکت کنندگان گفته می‌شود که اگر در این آزمون خوب عمل کنند، عملکرد ضعیف آن‌ها در مراحل قبلی، در نظر گرفته نمی‌شود (وین و همکاران، ۲۰۱۳).

پیگیری سوم (کوتاه مدت) (۴۸ ساعت بعد از پیگیری دوم یا آزمون تنش) ۴۸ ساعت پس از آزمون تحت تنش، مرحله پیگیری سوم انجام گرفت که در آن شرکت کنندگان اقدام به اجرای ۱۰ سرویس نمودند. دقت سرویس توسط محقق ثبت شد. علاوه بر این، هم‌زمان با زدن سرویس، دستگاه ردیابی چشم روی چشم شرکت کنندگان قرار گرفت تا توجه آن‌ها حین سرویس زدن ثبت گردد. مرحله انجام پیگیری برگرفته از روش تحقیق A-B-A یا همان (یادداری-تنش-یادداری) است که در تحقیق وین و همکاران (۲۰۱۱) استفاده شده بود.

یافته‌ها

در این مطالعه به منظور تجزیه و تحلیل اطلاعات، از روش‌های آمار توصیفی برای محاسبه شاخص‌های مرکزی و پراکندگی و رسم نمودارها استفاده گردید. از آزمون شاپیرو-ویلک برای بررسی نرمال بودن داده‌ها استفاده گردید. از آزمون لون برای بررسی برابری واریانس متغیرهای مورد نظر استفاده گردید. در آمار استنباطی، از آزمون تحلیل واریانس مختلط (تحلیل واریانس مرکب) استفاده گردید. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماري SPSS نسخه ۲۴ در سطح معنی داری ۰/۰۵ انجام گرفت. در جدول ۱ شاخص‌های آماری مربوط به متغیرهای تحقیق در گروه‌های مختلف ارائه شده است.

جدول ۱. شاخص‌های آماری دقت و چشم ساکن سرویس ساده والیبال در گروه‌های مختلف

| متغیر                 | گروه             | پیش آزمون      | پس آزمون       | یادداری اول    | آزمون تنش      | یادداری دوم    |
|-----------------------|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| دقت                   | tDCS ناحیه DLPFC | ۲۸/۴۱ ± ۲/۴۶   | ۳۵/۸۳ ± ۲/۸۸   | ۳۵/۰۸ ± ۳/۳۴   | ۳۵/۵۰ ± ۳/۵۸   | ۳۵/۳۳ ± ۲/۸۳   |
|                       | tDCS ساختگی      | ۲۹/۵۰ ± ۲/۸۱   | ۳۰/۶۶ ± ۲/۴۹   | ۳۰/۲۵ ± ۲/۹۵   | ۲۷/۴۱ ± ۵/۱۶   | ۳۱/۰۰ ± ۲/۸۶   |
| چشم ساکن (میلی ثانیه) | tDCS ناحیه DLPFC | ۴۵۲/۷۵ ± ۲۰/۹۷ | ۴۹۹/۱۶ ± ۳۵/۶۲ | ۵۳۳/۲۵ ± ۳۸/۴۳ | ۴۹۴/۰۸ ± ۳۶/۷۵ | ۵۲۶/۰۰ ± ۲۸/۰۶ |
|                       | tDCS ساختگی      | ۴۵۱/۶۶ ± ۳۱/۲۸ | ۴۵۰/۴۱ ± ۳۰/۸۷ | ۴۵۳/۲۵ ± ۲۶/۶۸ | ۴۱۴/۶۶ ± ۴۷/۷۷ | ۴۵۲/۶۶ ± ۲۱/۷۶ |

شاخص‌های (F) مربوط به اثر فرض کرویت گزارش شد. علاوه بر این پیش از بررسی اثرات بین گروهی، برای برابری واریانس‌های خطا از آزمون لوین استفاده گردید. نتایج این آزمون نشان داد که آزمون F برای هیچ‌یک از عامل‌های درون گروهی معنی‌دار نیست ( $P = 0/773$ )، پیش‌آزمون  $P$ ،  $P = 0/893$  پس‌آزمون  $P$ ،  $P = 0/346$  یادداری مرحله اول  $P$ ،  $P = 0/291$  آزمون تنش  $P$ ،  $P = 0/925$  یادداری مرحله دوم  $P$  و این نشان می‌دهد که مفروضه همگنی واریانس در بین گروه‌های متغیر مستقل برقرار است.

برای تحلیل داده‌های این مطالعه از آزمون تحلیل واریانس مختلط (۲ گروه  $\times$  ۵ مرحله اندازه‌گیری) استفاده شد. پیش‌فرض اول این آزمون برابری ماتریس کوواریانس می‌باشد. با توجه به عدم سطح معنی‌داری آزمون باکس ( $P = 0/851$ ،  $P_{دقت} = 0/392$ ، چشم ساکن  $P$ )، ماتریس کوواریانس داده‌ها برابر می‌باشد. پیش‌فرض دوم این آزمون اصل تقارن مرکب می‌باشد. برای برقراری این اصل از آزمون کرویت موخلی استفاده گردید. با توجه به عدم معنی‌دار بودن آزمون کرویت موخلی ( $P = 0/135$ ،  $P_{دقت} = 0/269$ ، چشم ساکن  $P$ )،

جدول ۲. یافته‌های مربوط به آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری تکراری برای دقت و چشم ساکن

| متغیر    | منبع تغییرات | مجموع مجذورات | درجه آزادی | میانگین مجذورات | مقدار F | سطح معنی‌داری | مجذوراتا |
|----------|--------------|---------------|------------|-----------------|---------|---------------|----------|
|          | زمان         | ۳۰۸/۷۱        | ۴          | ۷۷/۱۷           | ۷/۳۱    | $0/001^*$     | ۰/۲۵۰    |
| دقت      | گروه         | ۵۴۶/۱۳        | ۱          | ۵۴۶/۱۳          | ۵۵/۲۵   | $0/001^*$     | ۰/۷۱۵    |
|          | زمان * گروه  | ۶۶/۴۸         | ۴          | ۶۶/۴۸           | ۶/۳۰    | $0/001^*$     | ۰/۲۲۳    |
|          | زمان         | ۳۰۵۸۶/۴۱      | ۴          | ۷۶۴۶/۶۰         | ۷/۱۵    | $0/001^*$     | ۰/۲۴۵    |
| چشم ساکن | گروه         | ۸۹۱۶۲/۰۰      | ۱          | ۸۹۱۶۲/۰         | ۸۱/۸۲   | $0/001^*$     | ۰/۷۸۸    |
|          | زمان * گروه  | ۲۴۶۱۳/۱۱      | ۴          | ۶۱۵۳/۲۷         | ۵/۷۵۸   | $0/001^*$     | ۰/۲۰۷    |

در ادامه از یک طرح تحلیل واریانس درون گروهی برای عامل مراحل اندازه‌گیری برای مشخص نمودن تأثیر گروه تمرینی در مراحل مختلف آزمون استفاده شد که نتایج آن در جدول ۳ ارائه گردیده است.

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود به دلیل اینکه اثر تعاملی متغیر دقت ( $\eta^2 = 0/223$ ،  $\eta^2 = 0/207$ ،  $F = 6/30$ ،  $sig = 0/001$ ) و چشم ساکن ( $F = 5/75$ ،  $sig = 0/001$ ) معنادار است، از اثرات اصلی صرف نظر می‌گردد.

جدول ۳. یافته‌های مربوط به آزمون تحلیل واریانس درون گروهی در هر یک از گروه‌های تمرینی برای دقت و چشم ساکن

| متغیر    | گروه             | مجموع مجذورات | درجه آزادی | میانگین مجذورات | مقدار F | سطح معنی‌داری | مجذوراتا |
|----------|------------------|---------------|------------|-----------------|---------|---------------|----------|
|          | tDCS ناحیه DLPFC | ۴۷۶/۷۶        | ۴          | ۱۱۹/۱۹          | ۱۱/۲۳   | $0/001$       | ۰/۵۰۵    |
| دقت      | tDCS ساختگی      | ۹۷/۹۰         | ۴          | ۲۴/۴۷           | ۲/۳۳    | $0/071$       | ۰/۱۷۵    |
|          | tDCS ناحیه DLPFC | ۴۱۷۶۳/۷۶      | ۴          | ۱۰۴۴۰/۹۴        | ۹/۲۶    | $0/001$       | ۰/۴۵۷    |
| چشم ساکن | tDCS ساختگی      | ۱۳۴۳۵/۷۶      | ۴          | ۳۳۵۸/۹۴         | ۲/۳۲    | $0/095$       | ۰/۱۷۵    |

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود نتایج آزمون تحلیل واریانس درون گروهی برای عامل مراحل اندازه‌گیری نشان داد که تمرین tDCS ناحیه DLPFC باعث افزایش دقت سرویس ساده گردید ( $\eta^2 = 0/505$ ،  $F = 11/23$ ،  $sig = 0/001$ )، نتایج آزمون پیگردی بنفرونی نشان داد که تمرینات tDCS ناحیه DLPFC باعث بهبود عملکرد سرویس از پیش‌آزمون تا پس‌آزمون ( $sig = 0/002$ )، یادداری مرحله اول ( $sig = 0/002$ )، آزمون تنش ( $sig = 0/001$ ) و یادداری مرحله دوم ( $sig = 0/001$ ) گردید. اما بین مراحل آزمون تنش با مراحل پس‌آزمون ( $sig = 0/001$ )

یادداری مرحله اول ( $sig = 1/00$ )، یادداری مرحله اول ( $sig = 1/00$ ) تفاوت معنی‌داری یافت نگردید که این نتایج حاکی از عدم تضعیف عملکرد شرکت‌کنندگان در آزمون تنش بود. اما دیگر نتایج آزمون تحلیل واریانس درون گروهی برای عامل مراحل اندازه‌گیری نشان داد که tDCS ساختگی بر دقت سرویس ساده تأثیر معنی‌داری ندارد ( $F = 2/33$ ،  $sig = 0/07$ ،  $\eta^2 = 0/175$ ) همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود نتایج آزمون تحلیل واریانس درون گروهی برای عامل مراحل اندازه‌گیری نشان داد که تمرین tDCS ناحیه DLPFC باعث افزایش چشم

تضعیف طول دوره چشم ساکن شرکت کنندگان در آزمون تنش بود. اما دیگر نتایج آزمون تحلیل واریانس درون گروهی برای عامل مراحل اندازه گیری نشان داد که tDCS ساختگی بر چشم ساکن تأثیر معنی داری ندارد ( $F=2/32, sig=0/09, \eta^2=0/175$ ). بعد از بررسی تفاوت‌های درون گروهی به بررسی تفاوت بین گروهی در هر یک از مراحل آزمون پرداخته شد.

ساکن گردید ( $F=9/26, sig=0/001, \eta^2=0/457$ ). نتایج آزمون پیگردی بنفرونی نشان داد که تمرینات tDCS ناحیه DLPFC باعث افزایش طول دوره چشم ساکن از پیش آزمون تا پس آزمون ( $sig=0/001$ )، یادداری مرحله اول ( $sig=0/007$ )، آزمون تنش ( $sig=0/01$ ) و یادداری مرحله دوم ( $sig=0/001$ ) گردید. اما بین مراحل آزمون تنش با مراحل پس آزمون ( $sig=1/00$ )، یادداری مرحله اول ( $sig=0/88$ ) و یادداری مرحله دوم ( $sig=0/78$ ) تفاوت معنی داری یافت نگردید که این نتایج حاکی از عدم

جدول ۴. یافته‌های مربوط به آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری تکراری برای دقت و چشم ساکن

| متغیر    | مراحل اندازه‌گیری | اختلاف میانگین | خطای استاندارد | سطح معنی داری |
|----------|-------------------|----------------|----------------|---------------|
| دقت      | پیش آزمون         | -۱/۰۸۳         | ۰/۷۶۴          | ۰/۳۲۷         |
|          | پس آزمون          | ۵/۱۶۶          | ۰/۷۷۹          | ۰/۰۰۱         |
|          | یادداری اول       | ۴/۸۳۳          | ۰/۹۱۱          | ۰/۰۰۱         |
|          | آزمون تنش         | ۸/۰۸۳          | ۱/۲۸۲          | ۰/۰۰۱         |
| چشم ساکن | یادداری دوم       | ۴/۳۳۳          | ۰/۸۲۳          | ۰/۰۰۱         |
|          | پیش آزمون         | ۱/۰۸۳          | ۷/۶۸۹          | ۰/۹۲۲         |
|          | پس آزمون          | ۴۸/۷۵۰         | ۹/۶۲۳          | ۰/۰۰۲         |
|          | یادداری اول       | ۷۰/۰۰۰         | ۹/۵۵۹          | ۰/۰۰۱         |
|          | آزمون تنش         | ۷۹/۴۱۶         | ۱۲/۳۰۴         | ۰/۰۰۱         |
|          | یادداری دوم       | ۷۳/۳۳۳         | ۷/۲۴۹          | ۰/۰۰۱         |

### بحث و نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر باهدف اثربخشی تحریک الکتریکی مستقیم فراججمه‌ای (tDCS) ناحیه DLPFC بر عملکرد و توجه دیداری بازیکنان والیبال نشسته تحت شرایط استرس‌زا انجام گرفت. نتایج مطالعه حاضر از دو جنبه قابل بررسی می‌باشد. اول اینکه نتایج مطالعه حاضر نشان داد که تحریک الکتریکی مستقیم فراججمه‌ای (tDCS) ناحیه DLPFC بر عملکرد و توجه دیداری (چشم ساکن) سرویس ساده بازیکنان والیبال نشسته تأثیر معنی داری دارد و باعث بهبود عملکرد و افزایش طول دوره چشم ساکن شرکت کنندگان گردید. این یافته به‌طور مستقیم با یافته هریس و همکاران، (۲۰۱۹) ناهمخوان می‌باشد. هریس و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که تحریک قشر بینایی، حرکتی و ناحیه فرونتال بر طول دوره چشم ساکن ضربه پات گلف تأثیر معنی داری ندارد. از دلایل ناهمخوانی می‌توان به تعداد جلسات تحریک اشاره کرد که در مطالعه هریس و همکاران (۲۰۱۹) یک جلسه تحریک بود ولی در مطالعه حاضر ۶ جلسه تحریک بود. اما در مطالعاتی

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌گردد در مرحله پیش آزمون بین گروه‌ها در متغیر دقت تفاوت معنی داری وجود ندارد. اما نتایج نشان داد که در مرحله پس آزمون، یادداری اول، آزمون تنش و یادداری دوم به ترتیب با اختلاف میانگین ۵/۱۶، ۴/۸۳، ۸/۰۸ و ۴/۳۳ واحد شرکت کنندگان گروه تحریک ناحیه DLPFC در مقایسه با شرکت کنندگان گروه تحریک ساختگی از لحاظ آماری دقت بالاتری در سرویس داشتند ( $P < 0/01$ ). همچنین دیگر نتایج حاکی از این بود که در مرحله پیش آزمون بین گروه‌ها در متغیر چشم ساکن تفاوت معنی داری وجود ندارد. اما نتایج نشان داد که در مرحله پس آزمون، یادداری اول، آزمون تنش و یادداری دوم به ترتیب با اختلاف میانگین ۴۸/۷۵، ۷۰/۰۰، ۷۹/۴۱ و ۷۳/۳۳ میلی ثانیه شرکت کنندگان گروه تحریک ناحیه DLPFC در مقایسه با شرکت کنندگان گروه تحریک ساختگی از لحاظ آماری دوره چشم ساکن طولانی‌تری در سرویس داشتند ( $P < 0/01$ ).

غیرمستقیم، مطالعات در این زمینه نشان داده‌اند که تحریک *DLPFC* هوشیاری و توجه را حفظ می‌کند (مک کینلی و همکاران، ۲۰۱۳). تحریک *tDCS* در ناحیه *DLPFC* نیز با بهبود در جستجوی بصری مرتبط است (بولگینی و همکاران، ۲۰۱۰). در همین راستا، مک اینتایر و همکاران (۲۰۱۴) پیشنهاد می‌کند که تحریک *tDCS* در ابتدا موجب افزایش و سپس حفظ عملکرد هوشیاری و توجه می‌شود که با نتایج تحقیق حاضر همخوان می‌باشد. در بحث تأثیرگذاری این تمرینات می‌توان استدلال نمود که تحریک الکتریکی مغز بر روی نواحی مخچه و قشر حرکتی مغز، سطح تحریک‌پذیری سلول‌های مغزی را افزایش داده، فرآیند انعطاف‌پذیری عصبی را تسریع نموده و منجر به بهبود فرآیند یادگیری حرکتی می‌گردد (استاگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ ریس و همکاران، ۲۰۰۸). علاوه بر این، به هنگام یادگیری حرکتی تغییرات کارکردی و ساختاری‌ای در برخی شبکه‌های عصبی مانند: *MI* و *DLPFC* به وجود می‌آید و روابط رفتاری و عصبی مربوط به یادگیری حرکتی را تغییر می‌دهد (دکسی‌وری و همکاران، ۲۰۱۴؛ آنگرلیدر و همکاران، ۲۰۰۲) و پیشنهاد می‌شود که تأثیرات سودمند تحریک الکتریکی مستقیم فراججمه‌ای روی یادگیری حرکتی به تقویت این شبکه‌های عصبی و بهبود تغییرات فیزیولوژیکی - سلولی که همراه با تمرین اتفاق می‌افتد مربوط شود، به‌ویژه اینکه می‌تواند باعث کاهش میزان ناقلین عصبی بازدارنده (مانند گاما آمینوبوتیریک اسید) و یا افزایش ناقلین عصبی تحریک‌شده و با بهبود پارامترهایی که تحریک‌پذیری قشر حرکتی را افزایش می‌دهد، عملکرد و یادگیری حرکتی را تسهیل کند (ریس و همکاران، ۲۰۰۸). از دیگر اثرات تحریک الکتریکی مستقیم فراججمه‌ای افزایش سطوح *BDNF* در نتیجه تحریک می‌باشد که می‌تواند به ذخیره پتانسیل عصبی کمک کند و یادگیری حرکتی را بهبود دهد (فرچ و همکاران، ۲۰۱۰). آخرین اثر احتمالی تحریک الکتریکی مستقیم فراججمه‌ای تأثیرات مثبت تحریک به علت بهبود فرآیندهای کدگذاری در حافظه حرکتی در قشر حرکتی اولیه می‌باشد که از اثرات مهم تمرین به هنگام یادگیری حرکتی است (باتفیج و همکاران، ۲۰۰۴).

دوم اینکه نتایج مطالعه حاضر نشان داد که در اثر تحریک *tDCS* در ناحیه *DLPFC* عملکرد و توجه دیداری (چشم ساکن) شرکت‌کنندگان در شرایط آزمون تنش (استرس‌زا) تضعیف نشد که این نتیجه بر اثرگذاری تحریک *tDCS* در ناحیه *DLPFC* را در شرایط استرس‌زا و اضطرابی تأکید

دارد. در این مورد اشرفی و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای مروری نشان دادند که اکثر مطالعات نشان می‌دهند که *tDCS* می‌تواند اثرات نامطلوب خستگی ناشی از *MS* را در انواع شناختی خاص کاهش دهد. همچنین، همسو و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای مروری به این نتیجه رسیدند که نتایج شواهد اولیه‌ای را ارائه می‌دهد که *tDCS* تأثیر مطلوبی بر سرعت پردازش شناختی، اختلال خلقی، درد و خستگی در بیماران *MS* دارد. باین‌حال، تأثیرات بر شناخت و خستگی بر اساس ارزیابی خاص مورد استفاده متفاوت است. اما در مطالعه‌ای ناهمخوان، بهرامی و همکاران (۱۴۰۰) نشان دادند که یک جلسه *tDCS* بر عملکرد بسکتبالیست‌ها تأثیر مثبت و معناداری دارد؛ اما در مقایسه با گروه کنترل اثر معناداری بر خستگی روانی نداشت. احتمالاً یکی از دلایل عدم تأثیر *tDCS* بر خستگی روانی در بسکتبالیست‌ها به مدت‌زمان اعمال تحریک برمی‌گردد چون در مطالعه بهرامی و همکاران (۱۴۰۰) یک جلسه تحریک صورت گرفته است. ممکن است اعمال تحریک در چند زمان متوالی یا در فواصل استراحت تأثیر متفاوتی در میزان خستگی داشته باشد. فروسی و همکاران (۲۰۱۴) تأثیر *tDCS* را بر خستگی روانی در افراد دارای مالیتیل اسکورزیس بررسی کرده بودند. نتایج آن‌ها نشان داد *tDCS* تأثیر معناداری بر کاهش خستگی دارد. آن‌ها در تبیین تأثیر *tDCS* بر خستگی روانی عنوان کردند که *tDCS* آندال ممکن است با کاهش فعالیت گابا درون ججمه‌ای، خستگی را بهبود بخشد. این کاهش می‌تواند به‌عنوان جبران‌کننده اختلال تحریک مرکزی عمل کند یا به افراد اجازه می‌دهد توانش حرکتی جدیدی را هنگام تمرین کسب کنند. احتمال دیگر این است که *tDCS* آندال باعث افزایش تحریک‌پذیری عصبی و آکسونی در قشر حرکتی انسان می‌شود. مکانیسم‌های عمل زمینه‌ای برای مدولاسیون فعالیت عصبی ناشی از *tDCS* هنوز کاملاً درک نشده است. باین‌حال، مطالعات نشان داده‌اند که جریان الکتریکی تولیدشده توسط *tDCS* در پتانسیل غشای استراحت سلول‌های عصبی دخالت می‌کند، که فعالیت مدارهای خودبه‌خود مغز را تعدیل می‌کند (فریرا و همکاران، ۲۰۱۹). برخی از مطالعات نشان داده‌اند که *tDCS* می‌تواند در قدرت سیناپسی عصبی تأثیر داشته باشد، فعالیت گیرنده‌های *NMDA* و *GABA* را تغییر داده و بنابراین فرآیند انعطاف‌پذیری مانند تقویت طولانی‌مدت را تحریک کند (رانیری و همکاران، ۲۰۱۵؛ پولانیا و همکاران، ۲۰۱۱). همچنین تصور می‌شود اثرات طولانی‌مدت *tDCS* با

تغییرات در سنتز پروتئین و بیان ژن همراه است (هاتوری و همکاران، ۱۹۹۰؛ ایسلام و همکاران، ۱۹۹۵). علاوه بر این، مطالعه تصویربرداری عصبی نشان داد که تغییرات جریان خون به دنبال تحریک، که ممکن است مربوط به تأثیر مستقیم tDCS بر جریان خون باشد، با افزایش عرضه اکسیژن در نواحی قشر مغز و افزایش بعدی تحریک‌پذیری عصبی همراه باشد (ژنگ و همکاران، ۲۰۱۱). با توجه به این مکانیسم‌ها، به نظر می‌رسد tDCS ابزاری بارز برای تحریک فعالیت مغز و انعطاف‌پذیری به دنبال آسیب مغزی است.

به‌طور کلی نتایج مطالعه حاضر نشان داد که تحریک الکتریکی فراججمه‌ای از ناحیه DLPFC بر دقت و توجه دیداری حرکتی (چشم ساکن) توانش سرویس ساده والیبال تأثیر معنی‌داری دارد و باعث افزایش معنی‌دار دقت و طول دوره چشم ساکن گردید، همچنین نتایج به آزمون تنش انتقال یافت. نتایج حاصل از مطالعه حاضر پیامدهای مهم را نشان می‌دهد. اول اینکه بازیکنان والیبال نشسته می‌توانند یاد بگیرند که حرکات چشمی کاربردی تری ایجاد کنند که می‌تواند به‌طور مستقیم جبران‌کننده ناسازگاری‌های عملکردی مرتبط (آزمون تنش) باشد. دوم اینکه به نظر می‌رسد که دستورالعمل‌های تمرینات تحریک الکتریکی فراججمه‌ای از ناحیه DLPFC پیگیری مؤثرتر توانش هدف‌گیری را ارائه می‌دهد. این مزایا احتمالاً به دلیل کاهش تقاضا در مورد بار شناختی که از کنترل حرکتی پشتیبانی می‌کند و ارتقاء یک محیط یادگیری حرکتی آشکار است. از آنجا که نتایج تحریک الکتریکی فراججمه‌ای از ناحیه DLPFC قابلیت انتقال بر اساس آزمون تنش را داشت، بنابراین این نتایج کاربردهای ویژه‌ای در توانش‌های والیبال و دیگر توانش‌های ورزشی دارد جایی که عملکرد بینایی حرکتی ماهرانه تحت تأثیر متقابل تنش‌های روانی و فیزیولوژیکی قرار می‌گیرد. در نتیجه به مربیان پیشنهاد می‌شود که به تمرینات تحریک

الکتریکی فراججمه‌ای از ناحیه DLPFC و اثرات احتمالی آن‌ها در متغیرهای خیرگی توجه ویژه‌ای داشته باشند تا بتوانند حداقل بر اثرات منفی (تنش‌های روانی) فائق آیند. مطالعه حاضر دارای محدودیت‌های است که به‌صورت ذیل می‌باشد. اول اینکه به دلیل انجام تحقیق حاضر در دوران اپیدمی کرونا، شرکت‌کنندگان مجبور به استفاده از ماسک در حین اجرای تمرینات و آزمون‌ها بودند. دوم اینکه، عدم کنترل محقق روی تمرینات احتمالی ذهنی یا بدنی از تکلیف مورد نظر در خارج از جلسات تمرینی علی‌رغم دادن تذکرات لازم در این مورد به آن‌ها. سوم اینکه، عدم کنترل وقایع هم‌زمان به‌خصوص استفاده از دستگاه ردیابی چشم روی چشم آزمودنی‌ها که موجب سوگیری آزمودنی‌ها در اجرای آزمون‌ها شده است.

### ملاحظات اخلاقی

**پیروی از اصول اخلاق پژوهش:** مطالعه حاضر استخراج شده از رساله دکتری مصوب دانشگاه تهران با کد اخلاق IR/SSRI.REC.2021.10630.1147 مورد تأیید کمیته اخلاق در پژوهش پژوهشگاه تربیت بدنی و علوم ورزشی است. این مطالعه به صورت داوطلبانه و همکاری با فدراسیون جانبازان و معلولین جمهوری اسلامی ایران انجام پذیرفت و پس از مصاحبه اولیه و تکمیل فرم رضایت‌نامه آگاهانه در این پژوهش شرکت داده شدند.

**حامی مالی:** مطالعه حاضر مورد حمایت ستاد توسعه فناوری‌های شناختی است.

**نقش هر یک از نویسندگان:** نویسنده اول به عنوان پژوهشگر اصلی این مطالعه می‌باشد و نویسنده دوم به عنوان استاد راهنما و نویسنده مسئول مطالعه است. نویسندگان سوم و چهارم نیز به عنوان استاد راهنمای دوم و مشاور در این مطالعه حضور دارند.

**تضاد منافع:** نویسندگان هیچ‌گونه تضاد منافی در رابطه با این پژوهش اعلام نمی‌کنند.

**تشکر و قدردانی:** بدین وسیله نویسندگان پژوهش حاضر از کلیه شرکت‌کنندگان در این پژوهش و فدراسیون جانبازان و معلولین جمهوری اسلامی ایران کمال تشکر و قدر دانی را دارد.

## References

- Ashrafi, A., Mohseni-Bandpei, M. A., & Seydi, M. (2020). The effect of tDCS on the fatigue in patients with multiple sclerosis: A systematic review of randomized controlled clinical trials. *Journal of Clinical Neuroscience*, 78, 277-283. [Link]
- Bahrami, A., Moradi, J., & Etaati, Z. (2021). The Effects of Transcranial Direct Current Stimulation (TDCS) on Mental Fatigue and performance of Basketball Player. *Sport Psychology Studies*, 10(35), 167-186. (Persian). [Link]
- Ballard, H. K., Goen, J. R., Maldonado, T., & Bernard, J. A. (2019). Effects of cerebellar transcranial direct current stimulation on the cognitive stage of sequence learning. *Journal of neurophysiology*, 122(2), 490-499. [Link]
- Banissy, M. J., & Muggleton, N. G. (2013). Transcranial direct current stimulation in sports training: potential approaches. *Frontiers in human neuroscience*, 7, 129. [Link]
- Baumeister, R. F., & Showers, C. J. (1986). A review of paradoxical performance effects: Choking under pressure in sports and mental tests. *European Journal of Social Psychology*, 16(4), 361-383. [Link]
- Behan, M., & Wilson, M. R. (2008). State anxiety and visual attention: the role of the quiet eye period in aiming to a far target. *Journal of Sports Sciences*, 26(2), 207-215. [Link]
- Besharat, M. A., Rostami, R., Karimi, M., Farahani, H. (2015). The effectiveness of an augmented tDCS and ABMT on reducing food craving in obese individuals. *Applied Psychological Research Quarter*, 2015, 6(3), 19 -37. (Persian). [Link]
- Bolognini, N., Fregni, F., Casati, C., Olgiati, E., & Vallar, G. (2010). Brain polarization of parietal cortex augments training-induced improvement of visual exploratory and attentional skills. *Brain research*, 1349, 76-89. [Link]
- Bütefisch, C. M., Khurana, V., Kopylev, L., & Cohen, L. G. (2004). Enhancing encoding of a motor memory in the primary motor cortex by cortical stimulation. *Journal of neurophysiology*, 91(5), 2110-2116. [Link]
- Causser, J., Holmes, P. S., & Williams, A. M. (2011). Quiet eye training in a visuomotor control task. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43, 1042-1049. [Link]
- Coffman, B. A., Clark, V. P., & Parasuraman, R. (2014). Battery powered thought: enhancement of attention, learning, and memory in healthy adults using transcranial direct current stimulation. *Neuroimage*, 85, 895-908. [Link]
- De Xivry, J. J. O., & Shadmehr, R. (2014). Electrifying the motor engram: effects of tDCS on motor learning and control. *Experimental brain research*, 232(11), 3379-3395. [Link]
- Ferreira, I. S., Costa, B. T., Ramos, C. L., Lucena, P., Thibaut, A., & Fregni, F. (2019). Searching for the optimal tDCS target for motor rehabilitation. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 16(1), 90. [Link]
- Ferrucci, R., Vergari, M., Cogiamanian, F., Bocci, T., Ciocca, M., Tomasini, E., ... & Priori, A. (2014). Transcranial direct current stimulation (tDCS) for fatigue in multiple sclerosis. *NeuroRehabilitation*, 34(1), 121-127. [Link]
- Fiori, V., Coccia, M., Marinelli, C. V., Vecchi, V., Bonifazi, S., Ceravolo, M. G., ... & Marangolo, P. (2011). Transcranial direct current stimulation improves word retrieval in healthy and nonfluent aphasic subjects. *Journal of cognitive neuroscience*, 23(9), 2309-2323. [Link]
- Fritsch, B., Reis, J., Martinowich, K., Schambra, H. M., Ji, Y., Cohen, L. G., & Lu, B. (2010). Direct current stimulation promotes BDNF-dependent synaptic plasticity: potential implications for motor learning. *Neuron*, 66(2), 198-204. [Link]
- Harris, D. J., Wilson, M. R., Buckingham, G., & Vine, S. J. (2019). No effect of transcranial direct current stimulation of frontal, motor or visual cortex on performance of a self-paced visuomotor skill. *Psychology of Sport and Exercise*, 43, 368-373. [Link]
- Hattori, Y., Moriwaki, A., & Hori, Y. (1990). Biphasic effects of polarizing current on adenosine-sensitive generation of cyclic AMP in rat cerebral cortex. *Neuroscience letters*, 116(3), 320-324. [Link]
- Hsu, W. Y., Cheng, C. H., Zanto, T. P., Gazzaley, A., & Bove, R. M. (2021). Effects of Transcranial Direct Current Stimulation on Cognition, Mood, Pain, and Fatigue in Multiple Sclerosis: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Neurology*, 12, 276. [Link]
- Islam, N., Aftabuddin, M., Moriwaki, A., Hattori, Y., & Hori, Y. (1995). Increase in the calcium level following anodal polarization in the rat brain. *Brain research*, 684(2), 206-208. [Link]
- Jacobson, L., Koslowsky, M., & Lavidor, M. (2012). tDCS polarity effects in motor and cognitive domains: a

- meta-analytical review. *Experimental brain research*, 216(1), 1-10. [Link]
- Janelle, C. M., Hillman, C. H., Apparies, R. J., Murray, N. P., Meili, L., Fallon, E. A., & Hatfield, B. D. (2000). Expertise differences in cortical activation and gaze behavior during rifle shooting. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 22(2), 167-182. [Link]
- Jeon, S. Y., & Han, S. J. (2012). Improvement of the working memory and naming by transcranial direct current stimulation. *Annals of rehabilitation medicine*, 36(5), 585-595. [Link]
- Krane, V. (1994). The mental readiness form as a measure of competitive state anxiety. *The Sport Psychologist*, 8(2), 189-202. [Link]
- Lizuka, P. (2005). Anxiety and Performance in Young Table Tennis Players. *Sports Sci-ence Research*, 26, 73-75. [Link]
- Lundqvist, C. (2011). Well-Being in Competitive Sports—The Feel-Good Factor? A Review of Conceptual Considerations of Well-Being. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 4, 109-127. [Link]
- McIntire, L. K., McKinley, R. A., Goodyear, C., & Nelson, J. (2014). A comparison of the effects of transcranial direct current stimulation and caffeine on vigilance and cognitive performance during extended wakefulness. *Brain stimulation*, 7(4), 499-507. [Link]
- McKinley, R. A., McIntire, L., Bridges, N., Goodyear, C., Bangera, N. B., & Weisend, M. P. (2013). Acceleration of image analyst training with transcranial direct current stimulation. *Behavioral Neuroscience*, 127(6), 936. [Link]
- Nitsche, M. A., & Paulus, W. (2001). Sustained excitability elevations induced by transcranial DC motor cortex stimulation in humans. *Neurology*, 57(10), 1899-1901. [Link]
- Ohn SH, Park CI, Yoo WK, Ko MH, Choi KP, Kim GM, Lee YT, Kim YH. Time-dependent effect of transcranial direct current stimulation on the enhancement of working memory. *Neuroreport*. 2008 Jan 8;19(1):43-7. [Link]
- Pixa, N. H., & Pollok, B. (2018). Effects of tDCS on bimanual motor skills: a brief review. *Frontiers in behavioral neuroscience*, 12, 63. [Link]
- Polanía, R., Paulus, W., Antal, A., & Nitsche, M. A. (2011). Introducing graph theory to track for neuroplastic alterations in the resting human brain: a transcranial direct current stimulation study. *Neuroimage*, 54(3), 2287-2296. [Link]
- Querfurth, S., Schücker, L., de Lussanet, M. H., & Zentgraf, K. (2016). An internal focus leads to longer quiet eye durations in novice dart players. *Frontiers in psychology*, 7, 633. [Link]
- Ranieri, F., Podda, M. V., Riccardi, E., Frisullo, G., Dileone, M., Profice, P., ... & Grassi, C. (2015). Modulation of LTP at rat hippocampal CA3-CA1 synapses by direct current stimulation. *Journal of neurophysiology*, 107(7), 1868-1880. [Link]
- Reis, J., Robertson, E. M., Krakauer, J. W., Rothwell, J., Marshall, L., Gerloff, C., ... & Cohen, L. G. (2008). Consensus: Can transcranial direct current stimulation and transcranial magnetic stimulation enhance motor learning and memory formation?. *Brain stimulation*, 1(4), 363-369. [Link]
- Sabel, B. A., Thut, G., Haueisen, J., Henrich-Noack, P., Herrmann, C. S., Hunold, A., ... & Antal, A. (2020). Vision modulation, plasticity and restoration using non-invasive brain stimulation—an IFCN-sponsored review. *Clinical Neurophysiology*, 131(4), 887-911. [Link]
- Sadock, B. J., Sadock, V. A., & Kaplan, H. I. (2009). *Kaplan and Sadock's concise textbook of child and adolescent psychiatry*. Lippincott Williams & Wilkins. [Link]
- Stagg, C. J., Jayaram, G., Pastor, D., Kincses, Z. T., Matthews, P. M., & Johansen-Berg, H. (2011). Polarity and timing-dependent effects of transcranial direct current stimulation in explicit motor learning. *Neuropsychologia*, 49(5), 800-804. [Link]
- Tseng, P., Hsu, T. Y., Chang, C. F., Tzeng, O. J., Hung, D. L., Muggleton, N. G., et al. (2012). Unleashing potential: Transcranial direct current stimulation over the right posterior parietal cortex improves change detection in low performing individuals. *Journal of Neuroscience*, 32(31), 10554-10561. [Link]
- Ungerleider, L. G., Doyon, J., & Karni, A. (2002). Imaging brain plasticity during motor skill learning. *Neurobiology of learning and memory*, 78(3), 553-564. [Link]
- Vealey, R. S. (2007). Mental skills training in sport. [Link]
- Vickers, J. N. (2016). The Quiet Eye: Reply to sixteen commentaries. *Current Issues in Sport Science*, 1(118). [Link]
- Vickers, J.N. (2007). Perception, cognition and decision training: The quiet eye in action. Champaign: *Human Kinetics*. [Link]
- Vine, S. J., & Wilson, M. R. (2011). The influence of quiet eye training and pressure on attention and visuo-

- motor control. *Acta psychologica*, 136(3), 340-346. [\[Link\]](#)
- Vine, S. J., Lee, D., Moore, L. J., & Wilson, M. R. (2013). Quiet eye and choking: online control breaks down at the point of performance failure. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 45(10), 1988–1994. [\[Link\]](#)
- Vine, S. J., Masters, R. S., McGrath, J. S., Bright, E., & Wilson, M. R. (2012). Cheating experience: Guiding novices to adopt the gaze strategies of experts expedites the learning of technical laparoscopic skills. *Surgery*, 152(1), 32-40. [\[Link\]](#)
- Weinberg, R. S., & Gould, D. (2014). Foundations of sport and exercise psychology. Human Kinetics. [\[Link\]](#)
- Wilson, M. R., McGrath, J., Vine, S. J., Brewer, J., Defriend, D., & Masters, R.S.W. (2011) 'Perceptual impairment and visuomotor control in virtual laparoscopic surgery', *Surgical Endoscopy*, 25: 2268–74. [\[Link\]](#)
- Wilson, M. R., Vine, S. J., & Wood, G. (2009). The influence of anxiety on visual attentional control in basketball free throw shooting. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 31, 152-168. [\[Link\]](#)
- Zheng, X., Alsop, D. C., & Schlaug, G. (2011). Effects of transcranial direct current stimulation (tDCS) on human regional cerebral blood flow. *Neuroimage*, 58(1), 26-33. [\[Link\]](#)