Sport. Psychol. Stud, 2024, 13(48): 75-94, Doi: 10.22089/spsyj.2024.14341.2377

Sport Psychology Studies

Journal hompage: https://spsyj.ssrc.ac.ir

Original Article

Effect of Anodal Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) on Cognitive Flexibility and Social Decision-making in Skilled, Semi-skilled, and Amateur Football Players

Erfan Izadpanah[1], Mehdi Zemestani[2], Mohammad Maleki[3]

1. Department of Psychology, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran
2. Associate Professor, Department of Psychology, Sanandaj, Iran
3. Assistant Professor, Department of Sport Sciences, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

Received: 14/03/2023, Revised: 17/03/2024, Accepted: 08/04/2024

* Corresponding Author: Mehdi Zemestani, Tel: 09124374452, E-mail: m.zemestan@gmail.com

How to Cite: Izadpanah, E., Zemestani, M.; Maleki, M. (2024). Effect of Anodal Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) on Cognitive Flexibility and Social Decision-making in Skilled, Semi-skilled, and Amateur Football Players. *Sport Psychology Studies*, *13*(47), 75-94. In Persian.

Extended Abstract

Background and Purpose

At high levels of sports activities, especially in team sports, different teams aim to enhance the cognitive capacities of their players. It is expected that strengthening cognitive functions will contribute to better emotional regulation, ultimately leading to improved player performance. One of the key cognitive functions that positively influences sports performance is cognitive flexibility (1). Cognitive flexibility is one of the most important components of executive functions (EFs), and neurological studies have shown that EF capacity is closely linked to the prefrontal cortex of the brain (2). Additionally, research in sports psychology suggests that successful performance in athletes largely depends on their ability to make quick decisions and respond to both cognitive and physical demands simultaneously (3). Despite the importance of cognitive functions in sports performance, there is relatively few studies examining the cognitive capabilities of individuals with varying levels of expertise (skilled, semi-skilled, and amateur). The results of existing studies suggest that different levels of expertise can have distinct effects on cognitive functions, which in turn influence overall sports performance. It has been found that individuals with varying levels of skill differ not only in the amount and type of knowledge and information they possess but also in the strategies they use to predict, make decisions, and process information. Some researchers have demonstrated that skilled athletes tend to make better decisions than their less-skilled counterparts. For instance, studies using real-world models to investigate decision-making in soccer have shown that skilled soccer players make more accurate decisions compared to amateur players (3).

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/).

In recent years, neuroscience researchers have developed various experimental methods to improve cognitive functions. One such effective method is transcranial direct current stimulation (tDCS), which has been shown to have a significant impact on cognitive and behavioral functions (4), including cognitive flexibility (5). Considering that deficits in cognitive flexibility and social decision-making can negatively impact various dimensions of sports activities—including success motivation, efficiency, and overall performance—it is crucial to explore interventions that target cognitive and behavioral components, such as tDCS. However, few studies have investigated the effects of tDCS on these cognitive and behavioral factors in athletes. So far, only a limited number of studies have examined the effects of tDCS on cognitive and behavioral components in athletes with varying levels of expertise. The aim of the present study was to determine the effectiveness of tDCS on cognitive flexibility and social decision-making in skilled, semi-skilled, and amateur football players. The results of this research are expected to have practical implications for sports psychologists and professional coaches. If cognitive processes can be enhanced using tDCS, it may lead to improvements in executive functions and decision-making speed, ultimately helping to create more efficient and professional teams.

Materials and Methods

The study was semi-experimental research with two groups: an experimental tDCS group and a sham tDCS group, along with pre-test and post-test measurements. The statistical population consisted of male football players from Kurdistan province, from which 60 football players (Mage = 24.27) at skilled, semi-skilled, and amateur levels were selected using a convenience sampling method. These participants were then randomly assigned to either the experimental or sham tDCS groups, with 30 participants in each group. Each group included 10 skilled players, 10 semi-skilled players, and 10 amateur players. The experimental group received three sessions of anodal stimulation direct current stimulation (tDCS), each session lasting 20 minutes with a current intensity of 2 mA. The sham group received three sessions of sham stimulation. To collect data, the Wisconsin Card Sorting Test (WCST) was used to assess cognitive flexibility, and the Ultimatum Game (UG) was employed to measure social decision-making. The data were analyzed using univariate analysis of covariance (ANCOVA) with SPSS-22 software.

Results

The results demonstrated that tDCS led to a significant improvement in cognitive flexibility and social decision-making in the experimental group of football players, as compared to the sham group. Furthermore, the findings revealed that tDCS had a significant positive effect on enhancing social decision-making across all levels of expertise—skilled, semi-skilled, and amateur—among the football players in the experimental group when compared to the sham group.Table 1. Results of ANCOVA concerning the effect of tDCS on the cognitive flexibility and social decision making of soccer players in the experimental and sham groups

Variable	Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	*P*	Eta Square	Power
Cognitive flexibility	Pre-test	70.86	1	70.86	10.04	0.002	0.150	0.87
	group	258.46	1	258.46	36.65	0.001	0.391	1
	error	401.96	57	7.05				
Social decision-making	Pre-test	13281.1	1	13281.36	59.34	0.001	0.510	1
	group	15858.10	1	15858.10	70.86	0.001	0.554	1
	error	12766.60	57	223.78				

As shown in Table 1, there was a statistically significant difference between the two groups in terms of cognitive flexibility (F=36.65, p=0.001, η2 = 0.391) and social decision-making (F=36.65, p=0.001, η2 = 0.554). Bonferroni's post hoc test was conducted to identify which group (skilled, semi-skilled, or amateur) showed a significant difference. The results indicated that tDCS significantly improved cognitive flexibility in skilled and semi-skilled football players in the experimental group compared to the sham group (P<0.001). However, tDCS did not have a significant effect on the cognitive flexibility of amateur football players (P=0.422). Therefore, it can be concluded that electrical stimulation of the brain increased the cognitive flexibility in skilled and semi-skilled soccer players in the experimental group compared to the sham group, but it did not have a significant effect on the cognitive flexibility of amateur soccer players. The results of the Bonferroni test also showed that brain electrical stimulation significantly improved social decision-making in football players across all experimental groups (skilled, semi-skilled, and amateur athletes) compared to the sham group.

Conclusion

The results of the present study demonstrated that anodal stimulation of the frontal cortex increased the cognitive flexibility scores of skilled and semi-skilled football players in the experimental group compared to the sham group. Therefore, it can be concluded that practice, experience, and varying levels of skill play an undeniable role in the development of this cognitive ability. This finding is consistent with previous studies (5) that explored the effectiveness of brain electrical stimulation on cognitive flexibility and social decision-making, confirming the superior cognitive flexibility of skilled individuals in these abilities. A neurological explanation of the results of the present study can be that the observed effects of anodic stimulation, by depolarizing the neuron, cause a change in the resting state of the neuron and increase the excitability of the targeted area. It is possible that the cortical networks involved in response selection are more strongly affected by tDCS than those responsible for other cognitive functions, as these networks are specifically engaged in tasks related to decision-making and flexibility. The effect of tDCS in the targeted area depends on the polarity of the electrode (anodal or cathodal) during the stimulation and the specific brain area being stimulated. Therefore, anodal tDCS induces an excitatory effect, which may increase levels of glutamate (an amino acid associated with cognition), thereby enhancing cognitive flexibility, memory recognition, stimulus-response learning, and social decision-making (6).

The results of the present study have practical implications for sports psychologists and football coaches in improving the cognitive and behavioral functions of football players through tDCS. However, the findings should be interpreted within the context of several

limitations. The sample size of the study was small, and replication studies with larger sample sizes are needed. Future research should focus on larger sample sizes, diverse contexts, and different populations. Additionally, a self-report method was used to collect the data, which is susceptible to various biases.

مطالعات روان‌شناسی ورزشی، تابستان ۱۴۰۳، دوره ۱۳، شماره ۴۸، صص ۹۴-۷۵. Doi: 10.22089/spsyj.2024.14341.2377

مطالعات روان‌شناسی ورزشی

Journal hompage: https://spsyj.ssrc.ac.ir

مقاله پژوهشی

بررسی تأثیر تحریک الکتریکی مستقیم مغز (tDCS) آندی بر انعطاف‌پذیری شناختی و تصمیم‌گیری اجتماعی در بازیکنان ماهر، نیمه‌ماهر و مبتدی فوتبال

عرفان ایزدپناه[۱]، مهدی زمستانی[۲]، محمد ملکی[۳]

۱. گروه روانشناسی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
۲. دانشیار، گروه روانشناسی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
۳. استادیار، گروه تربیت بدنی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۳ ، تاریخ اصلاح: ۱۴۰۲/۱۲/۲۷ ، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۲۰

* Corresponding Author: Mehdi Zemestani, Tel: 09124374452, E-mail: m.zemestan@gmail.com

How to Cite: Izadpanah, E., Zemestani, M.; Maleki, M. (2024). Effect of Anodal Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) on Cognitive Flexibility and Social Decision-making in Skilled, Semi-skilled, and Amateur Football Players. *Sport Psychology Studies*, *13*(47), 75-94. In Persian.

چکیده

هدف پژوهش: **مطالعات محدودی به بررسی اثرات تحریک الکتریکی مستقیم مغز (tDCS) بر مؤلفه‌های شناختی و رفتاری در ورزشکاران با سطوح مختلف خبرگی پرداخته‌اند. پژوهش حاضر با هدف تعیین اثربخشی tDCS آندی بر انعطاف‌پذیری شناختی و تصمیم‌گیری اجتماعی در بازیکنان ماهر، نیمه‌ماهر و مبتدی فوتبال انجام شد.** ***مواد و روش‌ها:*** **پژوهش حاضر یک مطالعه نیمه‌تجربی با دو گروه آزمایش و ساختگی (شم) به همراه پیش‌آزمون و پس‌آزمون بود. جامعه آماری شامل تمامی بازیکنان فوتبال استان کردستان بودند که از بین آن‌ها تعداد ۶۰ نفر بازیکن مرد با میانگین سنی ۲۴/۲۷ در سطح ماهر، نیمه‌ماهر و مبتدی به شیوه در دسترس انتخاب و به صورت تصادفی در دو گروه آزمایش و شم گماشته شدند. گروه آزمایش، سه جلسه تحریک آندی با شدت ۲ میلی‌آمپر به مدت ۲۰ دقیقه دریافت کرد و گروه شم نیز سه جلسه تحریک الکتریکی به صورت شم یا ساختگی را دریافت نمود. برای گردآوری داده‌ها از آزمون** دسته‌بندی کارت‌های ویسکانسین **و بازی اولتیماتوم استفاده شد. داده‌ها با استفاده از تحلیل کوواریانس تک‌متغیره (ANCOVA) در نرم‌افزار SPSS-22 تجزیه و تحلیل شدند.** ***یافته‌ها:*** **نتایج نشان داد که tDCS به طور کلی منجر به افزایش معنادار انعطاف‌پذیری شناختی و بهبود تصمیم‌گیری اجتماعی در فوتبالیست‌های گروه آزمایش در مقایسه با گروه شم شده است (p<۰/۰۰۱). همچنین، نتایج آزمون پیگیری بونفرونی نشان داد که tDCS باعث افزایش انعطاف‌پذیری شناختی فوتبالیست‌های ماهر و نیمه‌ماهر در گروه آزمایش در مقایسه با گروه شم شده است (p<۰/۰۰۱)، ولی بر انعطاف‌پذیری شناختی فوتبالیست‌های مبتدی تأثیر معناداری را نداشته است (p=۰/۴۲۲). علاوه بر این، نتایج نشان داد که tDCS بر بهبود تصمیم‌گیری اجتماعی در تمامی فوتبالیست‌های ماهر، نیمه‌ماهر و مبتدی در گروه آزمایش در مقایسه با گروه شم تأثیر معناداری داشته است (p<۰/۰۰۱).** ***نتیجه‌گیری:*** **نتایج حاصل از پژوهش حاضر برای روانشناسان ورزشی و مربیان فوتبال در راستای بهبود عملکردهای شناختی و رفتاری بازیکنان فوتبال توسط tDCS پیامدهای کاربردی به همراه دارد.**

واژگان کلیدی: تحریک الکتریکی، مستقیم مغز، کنش‌های اجرایی، انعطاف‌پذیری شناختی، تصمیم‌گیری اجتماعی، ورزشکاران

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/).

مقدمه

در سطوح بالای ورزشی، مخصوصاً ورزش‌های جمعی، تیم‌های مختلف سعی در افزایش ظرفیت‌های شناختی بازیکنان خود دارند و انتظار بر این است که تقویت کارکردهای شناختی، منجر به تنظیم هیجانات و در نهایت بهبود عملکرد بازیکنان شود (کاسانوا[1] و همکاران، ۲۰۰۹). یکی از کارکردهای شناختی اساسی و مثبت برای بهبود عملکرد ورزشی، انعطاف‌پذیری شناختی[2] می‌باشد (دنیس[3]، ۲۰۱۰).

انعطاف‌پذیری شناختی از جمله اصلی‌ترین بخش‌های کنش‌های اجرایی[4] (EFs) است و مطالعات نورولوژیکی نشان داده‌اند که توانایی کنش‌های اجرایی مربوط به بخش پیش‌پیشانی مغز است (دیاموند[5]، ۲۰۱۳).

تحقیقات روزافزونی در خصوص اثرات بهبود کنش‌های اجرایی (از جمله کارکردهای مربوط به انعطاف‌پذیری شناختی مانند بهبود توجه، تصمیم‌گیری و زمان واکنش) بر عملکرد ورزشکاران در حال انجام است و اعتقاد بر این است که تغییرات کنش‌های اجرایی باعث ایجاد تغییراتی در عملکرد مغز و سایر فرآیندهای عالی شناختی می‌شود که می‌تواند بهبود عملکرد ورزشی را به دنبال داشته باشد (بهرامی، مرادی و اطاعتی، ۲۰۲۱؛ وستبرگ[6] و همکاران، ۲۰۱۲؛ نعیمی تاجدار، نمازی‌زاده، نصری و واعظ موسوی، ۲۰۲۰؛ ساکاموتو و همکاران[7]، ۲۰۱۸).

همچنین، بر اساس مطالعات انجام شده در حوزه روانشناسی ورزشی، عملکرد موفق بازیکنان به نسبت زیادی وابسته به تصمیم‌گیری سریع و انجام دادن درخواست‌های شناختی و جسمانی به صورت هم‌زمان است (چمورا، نظر و کاسیوبا[8]، ۱۹۹۴). تصمیم‌گیری، شامل انتخاب بهترین پاسخ بر اساس اطلاعات در دسترس می‌باشد (آروجو، دیویدز و هریستوسکی[9]، ۲۰۰۶). با توجه به اهمیت عملکرد ماهرانه ورزشکاران، تمرکز تحقیقات بر پیش‌بینی و ادراک تصمیم‌گیری در ورزش به سرعت در حال افزایش است و بسیاری از تحقیقات صورت–گرفته در زمینه تکلیف ادراکی–شناختی در ورزش نشان داده‌اند که استفاده مناسب از مهارت‌های ادراکی–شناختی مانند جستجوی بصری، شناخت الگو، تخمین موقعیت‌های احتمالی و پیش‌بینی برای تصمیم‌گیری مؤثر، از مؤلفه‌های مهم در ورزش سطح بالا محسوب می‌شوند (کاسانوا و همکاران، ۲۰۰۹؛ میلرز[10] و همکاران، ۲۰۰۸).

با وجود اهمیّت کارکردهای شناختی در عملکرد ورزشی، تحقیقات تجربی که قابلیت‌های شناختی افراد با سطوح متفاوت خبرگی (ماهر، نیمه‌ماهر و مبتدی) را مطالعه کرده باشند، محدود هستند. سال‌هاست که عوامل مؤثر در رسیدن به خبرگی و تمایز میان افراد ماهر، نیمه–ماهر و مبتدی ذهن متخصصان حوزه علوم ورزشی را به خود مشغول کرده است. در همین راستا، نظریه‌ها و پژوهش‌های مربوط به خبرگی به چهار حوزه تقسیم شده است: ۱– سهم عوامل بیولوژیک در رشد خبرگی، ۲– تمرین به عنوان کمک‌کننده اصلی برای رشد خبرگی، ۳– عوامل محیطی و زمینه‌ای تأثیرگذار بر رشد خبرگی و ۴– رویکردهای چندعاملی در رشد خبرگی (بایلی[11] و همکاران، ۲۰۱۰).

گزارشات بیولوژیکی بر سهم قابلیت‌ها و توانایی‌های جسمی خبرگان تأکید دارند. مؤلفه تمرین اشاره می‌کند که خبرگی نتیجه مشارکت در حجم قابل ملاحظه‌ای از تمرین با کیفیت بالاست (بیکر، کوته و آبرنتی[12]، ۲۰۰۳). گزارشات زمینه‌ای و محیطی بر اثر عوامل بیرونی و محیطی بر رشد مهارت‌های ورزشی تأکید می‌ورزد. در نهایت، رویکردهای چندعاملی، سهم مکمل و سینرژیک عوامل بیولوژیکی، تمرینی و زمینه‌ای را در تعامل با عوامل روان‌شناختی به‌ویژه عوامل هیجانی و شناختی برای رشد خبرگی را در نظر می‌گیرند (کوته و هی[13]، ۲۰۰۲؛ بایلی و همکاران، ۲۰۱۰).

نتایج مطالعات نشان می‌دهد که سطوح مختلف خبرگی اثرات متفاوتی را بر کارکردهای شناختی و در نهایت عملکرد ورزشی ایجاد می‌کنند. مشخص شده است که افراد ماهر در مقایسه با افراد غیرماهر در میزان و نوع دانش و اطلاعات و همچنین روش‌هایی که برای پیش‌بینی، تصمیم‌گیری و پردازش اطلاعات اتخاذ می‌کنند، با یکدیگر متفاوت هستند. برخی از تحقیقات نشان داده اند که بازیکنان ماهر تصمیم‌های

1. Casanova
2. Cognitive flexibility
3. Dennis
4. Executive functions
5. Diamond
6. Vestberg
7. Sakamoto
8. Chmura, Nazar, & Kaciuba
9. Araújo, Davids, & Hristovski
10. Millers
11. Bailey
12. Baker, Côté, & Abernethy
13. Côté & Hay

بهتری از همتایان غیرماهر خود می‌گیرند. محققان در فوتبال از الگوهای واقعی برای بررسی تصمیم‌گیری استفاده کرده‌اند.
نتایج این مطالعات نشان می‌دهد بازیکنان ماهر فوتبال نسبت به بازیکنان مبتدی در تصمیم‌گیری دقیق‌تر عمل می‌کنند (هانکوک و استه–ماریه[1]، ۲۰۱۳). فراوانی تصمیمات در زمین بازی و این حقیقت که تصمیم‌گیری یکی از عواملی است که ورزشکاران ماهر و مبتدی را از هم متمایز می‌کند، اهمیت آزمایش متغیرهایی را که ممکن است فرایندهای تصمیم‌گیری آنها را تحت تأثیر قرار دهد، برجسته می‌سازد. پرسش بنیادین در هدایت تحقیقات مربوط به تصمیم‌گیری و سایر کنش‌های شناختی در ورزشکاران این است: چرا افراد با سطوح متفاوت خبرگی که در برابر گزینه‌های مشابه قرار می‌گیرند، تصمیمات متفاوتی را اتخاذ می‌کنند؟ چه فرایندهای شناختی و عصب‌شناختی سبب می‌شود نتایج متفاوت باشند؟
بر اساس نظریه تصمیم‌گیری کلاسیک[2]، تصمیم‌گیری در افراد با سطوح متفاوت خبرگی شامل انتخاب رشته‌ای از اعمال از بین طبقه مشخصی از گزینه‌های مورد هدف خاص در ذهن است (گاتنیک، حکیم‌زاده، یوسکوویتز و پاتل[3]، ۲۰۰۶). در بسیاری از ورزش‌ها، اجراکنندگان با سطوح متفاوت خبرگی باید در محیطی پیچیده و متغیر تصمیم‌گیری کنند. در بازی فوتبال این تصمیم‌ها بر پایه اطلاعات ارائه‌شده از توپ، هم‌تیمی‌ها و حریفان و تحت محدودیت زمانی و فضایی صورت می‌گیرد، همچنین بازیکنان باید به بسیاری از اطلاعات اساسی مانند توپ به صورت انتخابی توجه کنند و واکنش نشان دهند (هانکوک و استه–ماریه، ۲۰۱۳).
نتایج مطالعات پیشنهاد می‌کنند که تغییر در فرآیندهای شناختی ورزشکاران و به تبع آن تغییراتی که در تصمیم‌گیری و عملکردهای آنان رخ می‌دهد، از اهمیت زیادی برخوردار است (چانگ، لابان، گاپین و اتنیر[4]، ۲۰۱۲). علاوه بر این، به نظر می‌رسد تغییراتی که در این مؤلفه‌های شناختی ایجاد می‌شود بر عملکرد ورزشی در ورزشکاران با سطوح متفاوت خبرگی (ماهر، نیمه‌ماهر و مبتدی) متفاوت باشد.

بنابراین، باید در تحقیقات آتی می‌بایست مورد توجه قرار گیرند (معینی‌راد، عبدلی، فارسی و احمدی، ۱۳۹۶).
در سال‌های اخیر پژوهش‌گران علوم اعصاب، شیوه‌های تجربی مختلفی را جهت بهبود کارکردهای شناختی ارائه کرده‌اند. یکی از این شیوه‌های کارآمد که دارای کارایی بالایی در این زمینه می‌باشد تحریک الکتریکی مستقیم مغز (tDCS[5]) است و پژوهش‌های قبلی نیز گزارش‌هایی از تأثیر بالای آن بر کارکردهای شناختی و رفتاری ارائه کرده‌اند (کافمن، کلارک و پاراسورمن[6]،۲۰۱۴؛ زمستانی، حسین‌پناهی، صالحی‌نژاد و نیچه[7]، ۲۰۲۲).
tDCS نوعی مداخله غیرتهاجمی و بی‌ضرر 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 پولاریزاسیون و هیپرپولاریزاسون نورون‌ها و تأثیر بر گیرنده‌های عصبی ایجاد می‌شود. به عبارتی دیگر، در این نوع تحریک الکتریکی نقاطی از سر با استفاده از جریان‌های ضعیف الکتریکی هدف قرار می‌گیرند (نیچه، بوگیو و فرگنی[8]،۲۰۰۹). این جریان ضعیف و مستقیم از طریق اتصال دو الکترود با قطب‌های متفاوت، معمولاً یک آند و یک کاتد، در نقاط مختلف بر روی سطح جمجمه منجر به تحریک نورون‌های زیرین می‌شود (فلوئل[9]، ۲۰۱۸).
تحریک آندی، به احتمال زیاد در تنه و آکسون نورون‌های هدف، تغییرات کمی را در پتانسیل استراحت غشاء ایجاد می‌کند که احتمال شلیک عصبی را افزایش می‌دهد، بنابراین تحریک‌پذیری قشر مغز تغییر می‌یابد. برعکس، تحریک کاتدی باعث ایجاد هیپولاریزاسیون کمی از پتانسیل استراحت غشاء ساختارهای مربوط می‌شود و بنابراین احتمال شلیک عصبی و تحریک‌پذیری را کاهش می‌دهد (کلارک[10] و همکاران، ۲۰۱۷).
پژوهش‌های قبلی حاکی از تأثیر tDCS بر انعطاف‌پذیری شناختی و تصمیم‌گیری اجتماعی هستند (کافمن، کلارک و پاراسورامان[11]، ۲۰۱۴؛ پاز[12] و همکاران، ۲۰۱۷؛ وانگ[13] و همکاران، ۲۰۱۶؛ جفری[14]

1. Hancock & Ste-Marie
2. Classical decision making
3. Gutnik, Hakimzada, Yoskowitz, & Patel
4. Chang, Labban, Gapin & Etnier
5. Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS)
6. Coffman, Clark, & Parasuraman
7. Zemestani, Hoseinpanahi, Salehinejad, & Nitsche
8. Nitsche, Boggio & Fregni
9. Flöel
10. Clark
11. Coffman, Clark, & Parasuraman
12. Paz
13. Wang
14. Jeffery

و همکاران، ۲۰۰۷). فیسر[1] و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه‌ای با عنوان بررسی اثربخشی تحریک الکتریکی قشر پیشانی بر ارزیابی شناختی نشان دادند که این روش بر ارزیابی شناختی و تنظیم هیجانی شرکت‌کنندگان موثر بوده است.

در پژوهشی تئو[2] و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که ۲۰ دقیقه تحریک آندی با شدت جریان یک و دو میلی‌آمپری در انجام تکالیف آزمون ویسکانسین تأثیر معناداری بر زمان واکنش افراد داشت. همچنین، tDCS بر روی نواحی مخچه و قشر حرکتی مغز، سطح تحریک‌پذیری سلول‌های مغزی را افزایش داده، فرایند انعطاف‌پذیری عصبی را تسریع نموده و منجر به بهبود فرایندهای حرکتی و تصمیم‌گیری سریع در موقعیت‌های اجرایی-عملکردی می‌گردد (استاگ[3] و همکاران، ۲۰۱۱).

در عین حال، در خصوص تأثیر tDCS بر تعاملات اجتماعی و تصمیم‌گیری اجتماعی یافته‌های متناقض و محدودی گزارش شده است (نیچه و همکاران، ۲۰۱۵). به عنوان مثال، ناچ[4] و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که اِعمال کاتدی tDCS بر روی ناحیه پیش‌پیشانی راست می‌تواند تمایل افراد به مجازات رفتار ناعادلانه را در بازی اولتیماتوم به طور معناداری کاهش دهد. همچنین در مطالعه‌ای دیگر، هالیزینگ[5] و همکاران (۲۰۱۷) دریافتند که فعال شدن DLPFC نیمکره راست می‌تواند تغییرات ریسک‌پذیری شرکت‌کنندگان را تغییر دهد.

از طرفی دیگر، برخی از پژوهش‌های پیشین تأثیر tDCS در برهمکنش‌های اجتماعی و تصمیم‌گیری اجتماعی را مورد تائید قرار نداده‌اند (کولزاتو[6] و همکاران، ۲۰۱۵). در مطالعه‌ای که توسط کولزاتو و همکاران (۲۰۱۵) انجام شد، ۶۰ نفر به سه گروه تقسیم شدند. به یکی از گروه‌ها تحریک آندی در ناحیه mPFC و به گروه دیگر تحریک کاتدی در ناحیه mPFC و به گروه سوم نیز که گروه شم بودند تحریک sham ارائه شد. با مقایسه این سه گروه و نتایج آن‌ها در بازی اولتیماتوم، تغییری مشاهده نشد و نتیجه مطالعه این بود که tDCS تأثیری بر تصمیم‌گیری اجتماعی ندارد. در مجموع، با وجود تحقیقات و یافته‌های متناقضی که اخیراً گزارش شده، چنین عنوان شده است که هنوز مکانیزم‌های شناختی و عصبی تأثیر tDCS بر انعطاف‌پذیری شناختی و تصمیم‌گیری اجتماعی به خوبی مشخص نشده و نیازمند مطالعات بیشری است.

با توجه به این که نقص در انعطاف‌پذیری شناختی و فرایندهای تصمیم‌گیری اجتماعی در فعالیت‌های ورزشی از جمله انگیزه موفقیت، کارآمدی و عملکرد ورزشی تأثیر منفی دارد، لزوم توجه به مداخلات اثرگذار بر مؤلفه‌های شناختی و رفتاری همچون tDCS شایسته است که مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد. مطالعات محدودی به بررسی اثرات tDCS بر مؤلفه‌های شناختی و رفتاری در ورزشکاران پرداخته‌اند.

با توجه به اینکه تاکنون هیچ مطالعه‌ای تأثیر tDCS بر انعطاف‌پذیری شناختی و تصمیم‌گیری اجتماعی ورزشکاران با سطوح مختلف خبرگی را مورد مطالعه قرار نداده است، لذا، با در نظرگرفتن نقش احتمالی کنش‌های اجرایی و انعطاف‌پذیری شناختی در تصمیم‌گیری اجتماعی و همچنین با توجه به تأثیر tDCS بر مؤلفه‌های شناختی و رفتاری، پژوهش حاضر با هدف تعیین اثربخشی tDCS بر انعطاف‌پذیری شناختی و تصمیم‌گیری اجتماعی در فوتبالیست‌های ماهر، نیمه‌ماهر و مبتدی انجام شد.

نتایج حاصل از پژوهش حاضر برای روانشناسان ورزشی و مربیان حرفه‌ای پیامدهای کاربردی به دنبال خواهد داشت. در صورت اعمال تغییر در فرآیندهای شناختی با استفاده از tDCS، می‌توان عملکردهای اجرایی و سرعت تصمیم‌گیری ورزشکاران را افزایش داده و در نتیجه تیم‌های کاراتر و حرفه‌ای‌تری را ایجاد نمود.

روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر یک مطالعه نیمه‌تجربی با گمارش تصادفی آزمودنی‌ها در دو گروه آزمایش (tDCS واقعی) و شم (tDCS ساختگی)، به همراه پیش‌آزمون و پس‌آزمون بود. جامعه آماری شامل تمامی بازیکنان فوتبال استان کردستان بودند. از بین این افراد تعداد ۶۰ نفر بازیکن فوتبال مرد در سطح ماهر، نیمه‌ماهر و مبتدی که حائز ملاک‌های ورود به پژوهش بودند، به شیوه در دسترس انتخاب و سپس به صورت تصادفی در دو گروه آزمایش و شم (هر گروه ۳۰ نفر: ۱۰ نفر ماهر، ۱۰ نفر نیمه‌ماهر و ۱۰ نفر مبتدی)، گماشته شدند.

1. Feeser
2. Teo
3. Stagg
4. Knoch
5. Haoli Zheng
6. Colzato

بازیکنان ماهر شامل اعضای اصلی یکی از تیم‌های حاضر در لیگ‌های رسمی کشور بودند که دارای حداقل ۸ سال سابقه بازی فوتبال بودند؛ بازیکنان نیمه‌ماهر شامل بازیکنان اصلی تیم‌های دانشگاهی، مؤسسات یا محلات بودند که از تجربه حداقل ۵ سال بازی در رشته فوتبال برخوردار بودند؛ بازیکنان مبتدی نیز شامل بازیکنانی بود که به صورت رایج در طول هفته حداقل یک بار بازی فوتبال را در سالن ورزشی اجرا می‌کردند و از تجربه ۲ سال بازی در رشته فوتبال برخوردار بودند (محمدزاده، پارسافر و دهقانی‌زاده، ۱۳۹۸).

معیارهای ورود به پژوهش عبارت بودند از عدم ابتلا به بیماری خاصی از نوع بیماری‌های نورولوژیکی و سایکولوژیکی، عدم مصرف داروی خاص، عدم آسیب به سر، عضویت در تیم‌های حاضر در لیگ‌های کشوری و یا تیم‌های دانشگاهی، مؤسسات و محلات، تمایل به مشارکت در پژوهش. معیارهای خروج از پژوهش نیز عدم تمایل به ادامه روند مطالعه یا هرگونه فشار ناشی از مداخلات پژوهشی بود.

روش اجرای پژوهش صورت بود که پس از تأیید پیشنهاد پژوهش در گروه آموزشی روانشناسی دانشگاه کردستان و دریافت کد اخلاقی پژوهش IR.UOK.REC.1398.002 از کمیته اخلاق دانشگاه کردستان، ابتدا با مراجعه به اداره تربیت بدنی شهرستان سنندج مجوزهای لازم جهت انجام پژوهش اخذ شد. سپس با مراجعه به سالن‌های ورزشی فوتسال و زمین چمن در سانس‌های بازی و هماهنگی با مربیان، شرایط پژوهش به آنان توضیح داده شد و از آنان خواسته شد در صورت تمایل جهت ارزیابی ملاک‌های ورود به پژوهش در زمان‌های تعیین شده به آزمایشگاه روانشناسی مراجعه نمایند.

پس از احراز شرایط ورود به پژوهش و تقسیم‌بندی آزمودنی‌ها در دو گروه آزمایش و شم، ابتدا عملکرد دستگاه برای شرکت‌کنندگان توضیح داده شد و سپس درباره روند مداخله نیز به آزمودنی‌ها توضیحاتی ارائه شد. قبل از ارائه مداخله، برگه رضایت‌نامه همراه با ذکر تأثیرات جانبی احتمالی tDCS به امضا آزمودنی‌ها رسید. آزمودنی‌ها با کمترین ارتباط با آزمونگر، دو نوع مختلف از تحریک tDCS (واقعی، شم یا ساختگی) را طی ۳ جلسه روی قشر پیش‌پیشانی خلفی جانبی با شدت ۲ میلی‌آمپر و به مدت ۲۰ دقیقه دریافت کردند. بنابراین، برای گروه آزمایش ۳ جلسه تحریک آندی با شدت ۲ میلی‌آمپر به مدت ۲۰ دقیقه ارائه شد و برای گروه شم نیز ۳ جلسه تحریک آندی به صورت ساختگی ارائه شد.

برای تعیین نقاط تحریک در این پژوهش، بر اساس سیستم تقسیم‌بندی ۱۰-۲۰ نقاط F3 و Fp2 به ترتیب نقاط تحریک آندی و کاتدی مشخص شدند. شیوه ارائه تحریک آندی tDCS به شرح زیر بود: (۱) tDCS واقعی با جریانی که الکترود آند آن در کرتکس پیش‌پیشانی راست و الکترود کاتد بر بالای قشر حدقه‌ای در طرف مقابل می‌باشد. (۲) tDCS شم یا ساختگی به عنوان گروه شم، به این صورت بود که مکان الکترودها همانند الکترودهای تحریک آندی بود، با این تفاوت که برای ایجاد احساس جریان واقعی اولیه، جریان فقط در ۳۰ ثانیه اول وارد و سپس در طول آزمایش قطع شد.

برای به حداقل رسانیدن انتقال تأثیرات مراحل آزمون، حداقل ۲۴ ساعت فاصله بین جلسات در نظر گرفته شد. پس از پایان جلسات، مجدداً تکلیف کارت‌های ویسکانسین توسط شرکت‌کنندگان اجرا شد و در بازی اولتیماتوم شرکت کردند.

ابزار گردآوری داده‌ها

الف) **آزمون دسته‌بندی کارت‌های ویسکانسین[1] (WCST):** نسخه اولیه آزمون دسته‌بندی کارت‌های ویسکانسین ابتدا به وسیله گرانت و برگ (۱۹۸۴) ساخته شده است. این آزمون شامل ۶۴ کارت با تصاویری است که از نظر رنگ (قرمز، زرد، آبی و یا سبز)، شکل (ضربدر، دایره، مثلث و یا ستاره) و تعداد (یک تا چهار عدد) با یکدیگر متفاوت هستند. این آزمون برای سنجش استدلال انتزاعی، انعطاف‌پذیری شناختی و توانایی سازگار کردن راهبردهای شناختی فرد با چالش‌های محیطی طراحی شده است.

عقیده بر این است که این آزمون گستره پیچیده‌ای از کنش‌های اجرایی را می‌سنجد که شامل انعطاف‌پذیری شناختی، برنامه‌ریزی، سازماندهی، استدلال انتزاعی، شکل‌گیری مفهوم، حفظ قوانین شناختی، توانایی تغییر و بازداری پاسخ‌های تکانه‌ای است. در این آزمون نمرات زیر مورد محاسبه قرار گرفت: میانگین پاسخ‌های صحیح، میانگین خطاهای درجاماندگی (که حاصل عدم توانایی تغییر قاعده و ردیف کردن کارت‌ها بر اساس رویه قبلی است)، میانگین پاسخ‌های متوالی و میانگین پاسخ‌های سطح ادراکی (به درصد تعداد کل پاسخ‌های صحیحی اطلاق می‌شود که با حداقل سه پاسخ صحیح بدون خطا اتفاق می‌افتد).

پایایی این آزمون برای سنجش نقایص شناختی پس از آسیب‌های مغزی بالای ۰/۶۸ است. اعتبار این آزمون نیز بر اساس ضریب توافق ارزیابی‌کنندگان در مطالعه اسپیرمن و استراوس (۱۹۸۸) معادل ۰/۸۳

1. Wisconsin Card Sorting Test (WCST)

گزارش شده است. در ایران نیز نادری (۱۹۹۳) پایایی این آزمون را در جمعیت ایرانی با روش بازآزمایی ۰/۸۵ برآورد کرده است (نادری، ۱۹۹۳).

ب) بازی اولتیماتوم[1](UG): برای بررسی تصمیم‌گیری اجتماعی آزمودنی‌ها از بازی اولتیماتوم استفاده شد. نحوه شروع بازی اولتیماتوم به این صورت بود که به شرکت‌کننده در هر تلاش مقدار متغیری (۱ تا ۱۰ هزار تومان یعنی ۵ تا ۵۰ درصد) از پول مشخصی (۲۰ هزار تومان) ارائه می‌شد و او آن سهم را قبول یا رد می‌کرد. در ابتدا به شرکت‌کننده گفته می‌شد که از قبل مبلغ هر تلاش را یک نفر پیشنهاد کرده است که اگر قبول کنید سهم شما و فرد تقسیم‌کننده داده می‌شود، در غیر این صورت به هیچ کدام سهمی نمی‌رسد.

بعد از قبول یا رد مبلغ پیشنهاد شده، فرد میزان رضایت خود را از یک تا نه در رابطه با تقسیم، درجه‌بندی می‌کرد و ارائه تلاش بعدی شروع می‌شد. شرکت‌کننده ۵ ثانیه برای قبول یا رد و ۳ ثانیه برای درجه‌بندی رضایت از تقسیم وقت داشت. بعد از هر واکنش شرکت‌کننده، مرحله بعدی ارائه می‌شد.

از این بازی به طور کلاسیک در مطالعاتی که بر هم‌کنش‌های اجتماعی و تصمیم‌گیری‌های مهم مطرح بوده، استفاده شده است (گاث، اشمیت‌برگر و شوارز[2]، ۱۹۸۲). به عنوان مثال، پاز[3] و همکاران (۲۰۱۷) برای بررسی تأثیر اعتماد به نفس بر تعاملات و تصمیم‌گیری‌های اجتماعی از این بازی استفاده کرده‌اند. در ایران نیز سهرابی و امانی (۲۰۱۳) برای بررسی بی‌انصافی ادراک شده در تعاملات زوجین از این ابزار استفاده کرده و ویژگی‌های روان‌سنجی قابل قبولی را برای آن گزارش کرده‌اند.

برای تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از پژوهش و مشخص‌کردن اثرات tDCS بر انعطاف‌پذیری شناختی و تصمیم‌گیری اجتماعی فوتبالیست‌های گروه آزمایش و شم از تحلیل کوواریانس تک‌متغیره (ANCOVA) استفاده شد. پیش از انجام تحلیل، مفروضه‌های زیربنایی تحلیل کوواریانس شامل نرمال بودن توزیع داده‌ها، همگنی واریانس‌ها و تقارن مرکب ماتریس‌های واریانس–کواریانس مورد بررسی قرار گرفتند. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS-22 استفاده شد و برای آزمون فرضیه سطح معنی‌داری ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

در ابتدا، پیش از اجرای آزمون تحلیل کواریانس، برای بررسی مفروضه‌های نرمال بودن توزیع داده‌ها از آزمون کولموگروف–اسمیرنوف، برای بررسی همگنی واریانس دو گروه از آزمون لون و برای بررسی مفروضه نرمال بودن چندمتغیره و تقارن مرکب ماتریس‌های واریانس–کواریانس از آزمون M باکس استفاده شد.

نتایج آزمون کولموگروف– اسمیرنوف برای بررسی مفرضه نرمال بودن توزیع داده‌ها در هر دو متغیر نشان داد که $p>۰/۰۵$ می‌باشد و این بیانگر نرمال بودن توزیع داده‌ها می‌باشد. نتایج آزمون لوِن بررسی مفرضه همگنی واریانس گروه‌ها در دو متغیر نشان داد که $p>۰/۰۵$ می‌باشد و این بیانگر یکسان بودن واریانس گروه‌ها می‌باشد و پیش–شرط اجرای آزمون پارامتریک وجود دارد. نتایج آزمون M باکس نیز نشان داد که مفروضه نرمال بودن چندمتغیره و تقارن مرکب ماتریس‌های واریانس کواریانس برقرار می‌باشد. بنابراین، با توجه به برقراری پیش‌فرض‌ها، می‌توان از آزمون پارامتریک ANCOVA استفاده کرد.

نتایج تحلیل‌های توصیفی بر روی متغیرهای دموگرافیک نشان داد که میانگین سنی گروه آزمایش ۲۴/۴۳ و گروه شم ۲۳/۶۷ بود. از گروه آزمایش ۷ نفر دارای مدرک کاردانی، ۱۹ نفر کارشناسی و ۴ نفر کارشناسی ارشد بودند. در گروه شم ۶ نفر دارای مدرک تحصیلی کاردانی، ۱۸ نفر کارشناسی و ۶ نفر کارشناسی ارشد بودند.

1. Ultimatum Game (UG)
2. Güth, Schmittberger, & Schwarze
3. Paz

جدول ۱. میانگین و انحراف استاندارد نمرات متغیرهای انعطاف‌پذیری شناختی و تصمیم‌گیری اجتماعی در گروه آزمایش و شم
Table 1. Mean and standars deviations of the cognitive flexibility and social decision-making scores in the experimental and sham groups

گروه	زمان	انعطاف‌پذیری شناختی				تصمیم‌گیری اجتماعی			
		میانگین	انحراف استاندارد	حداقل نمره	حداکثر نمره	میانگین	انحراف استاندارد	حداقل نمره	حداکثر نمره
آزمایش	پیش‌آزمون	۸/۹۰	۳/۹۸	۱	۱۹	۲۱۵/۴۳	۲۸/۳۵	۱۴۱	۲۸۰
	پس‌آزمون	۳/۷۳	۳/۰۵	۰	۱۲	۲۴۵/۹۶	۲۲/۷۶	۱۹۵	۲۹۳
شم	پیش‌آزمون	۸	۲/۸۵	۳	۱۳	۲۱۸/۰۶	۲۱/۰۸	۱۵۵	۲۸۰
	پس‌آزمون	۷/۶۳	۲/۶۴	۳	۱۳	۲۱۵	۱۹/۴۷	۱۵۷	۲۷۳

همان طور که در جدول شماره ۱ مشاهده می‌شود، میانگین انعطاف‌پذیری شناختی در گروه آزمایش در مقایسه با گروه شم در پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون کاهش بیشتری داشته است، و میانگین تصمیم‌گیری اجتماعی در گروه آزمایش در مقایسه با گروه شم در پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون افزایش بیشتری داشته است.

برای مشخص کردن تأثیر تحریک الکتریکی مغز (tDCS) بر انعطاف‌پذیری شناختی فوتبالیست‌های گروه آزمایش و شم از تحلیل کواریانس تک‌متغیره استفاده شد. نتایج به دست آمده از تحلیل‌های مربوط به اثرات بین گروهی در جدول شماره ۲ قابل مشاهده است.

جدول۲. نتایج تحلیلANCOVA برای بررسی اثر tDCS بر انعطاف‌پذیری شناختی فوتبالیست‌ها در گروه آزمایش و شم
Table 2. Results of the ANCOVA to investigate the effect of tDCS on the cognitive flexibility of footballplayers in the experimental and sham groups

منبع	مجموع مجذورات	درجه آزادی	میانگین مجذورات	F	*P*	ضریب اتا	توان آزمون
پیش‌آزمون	۷۰/۸۶	۱	۷۰/۸۶	۱۰/۰۴	۰/۰۰۲	۰/۱۵۰	۰/۸۷
گروه	۲۵۸/۴۶	۱	۲۵۸/۴۶	۳۶/۶۵	۰/۰۰۱	۰/۳۹۱	۱
خطا	۴۰۱/۹۶	۵۷	۷/۰۵				

همان طور در جدول شماره ۲ مشاهده شد، تفاوت بین دو گروه در متغیر انعطاف‌پذیری شناختی از لحاظ آماری معنادار می‌باشد ($F=۳۶/۶۵$، $p=۰/۰۰۱$). تحریک الکتریکی مغز باعث کاهش بیشتر معنادار درجاماندگی شناختی و در نتیجه انعطاف‌پذیری شناختی فوتبالیست‌ها در گروه آزمایش شد.

نتایج آزمون نسبت‌های چندگانه اثرات تعامل زمان (درون آزمودنی‌ها) مربوط به انعطاف‌پذیری شناختی در فوتبالیست‌های ماهر، نیمه‌ماهر و مبتدی در گروه آزمایش و شم در جدول شماره ۳ ارائه شده است.

جدول ۳. نتایج اثرات تعامل چندگانه زمان و گروه (درون آزمودنی‌ها) بر انعطاف‌پذیری شناختی

Table 3. Results of the multiple interactions of time by group (within subjects) on cognitive flexibility

گروه	منبع	مجموع مجذورات	df	میانگین مجذورات	F	*P*	مجذور اتا
ماهر	زمان	۱۴۰/۶۲	۱	۱۴۰/۶۲	۲۲/۰۷	۰/۰۰۱	۰/۵۵۱
	زمان*گروه	۱۴۸/۲۲	۱	۱۴۸/۲۲	۲۳/۲۷	۰/۰۰۱	۰/۵۶۴
نیمه‌ماهر	زمان	۱۲۲/۵۰	۱	۱۲۲/۵۰	۳۱/۳۲	۰/۰۰۱	۰/۶۳۵
	زمان*گروه	۳۶/۱۰	۱	۳۶/۱۰	۹/۲۳	۰/۰۰۷	۰/۳۳۹
مبتدی	زمان	۱۱/۰۲	۱	۱۱/۰۲	۱/۹۷	۰/۱۷۷	۰/۰۹۹
	زمان*گروه	۲۱/۰۲	۱	۲۱/۰۲	۳/۷۶	۰/۰۶۸	۰/۱۷۳

نتایج نشان داد که گذشت زمان اثر معناداری روی انعطاف‌پذیری شناختی ورزشکاران ماهر و نیمه‌ماهر دارد (*p*= ۰/۰۰۱). تعامل معناداری بین گروه و زمان در انعطاف‌پذیری شناختی در ورزشکاران ماهر و نیمه‌ماهر وجود دارد (*p*= ۰/۰۰۱)، ولی گذشت زمان و تعامل گروه و زمان در ورزشکاران مبتدی معنادار نمی‌باشد (*p*>۰/۰۵).

جدول ۴. نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی برای متغیر انعطاف‌پذیری شناختی در گروه‌های پژوهش

Table 4. Results of the Bonferroni post hoc t-tests for pairwise comparisons between study groups on cognitive flexibility

گروه (I)	گروه (J)	تفاوت میانگین‌ها (I-J)	خطای استاندارد	سطح معناداری
آزمایش ماهر	آزمایش نیمه‌ماهر	−۰/۶۱	۱/۱۵	۱
	آزمایش مبتدی	−۳/۲۱	۱/۱۶	۰/۱۲۱
	شم ماهر	−۵/۷۵	۱/۱۶	۰/۰۰۱
	شم نیمه‌ماهر	−۴/۶۶	۱/۱۴	۰/۰۰۲
	شم مبتدی	−۶/۱۷	۱/۱۶	۰/۰۰۱
آزمایش نیمه‌ماهر	آزمایش مبتدی	−۲/۵۹	۱/۱۲	۰/۳۷
	شم ماهر	−۵/۱۳	۱/۱۲	۰/۰۰۱
	شم نیمه‌ماهر	−۴/۰۴	۱/۱۲	۰/۰۱۱
	شم مبتدی	−۵/۵۵	۱/۱۲	۰/۰۰۱
آزمایش مبتدی	شم ماهر	−۲/۵۳	۱/۱۲	۰/۴۲۲
	شم نیمه‌ماهر	−۱/۴۴	۱/۱۲	۱
	شم مبتدی	−۲/۹۶	۱/۱۲	۱

برای این که نشان دهیم بین کدام یک از گروه‌های ورزشکاران (ماهر، نیمه‌ماهر و مبتدی) تفاوت معناداری وجود دارد، از آزمون تعقیبی بونفرونی استفاده شد. نتایج آزمون بونفرونی نشان داد که تحریک الکتریکی مغز بر انعطاف‌پذیری شناختی فوتبالیست‌های در گروه آزمایش (ورزشکاران ماهر و نیمه‌ماهر) در مقایسه با گروه شم معنادار می‌باشد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که تحریک الکتریکی مغز باعث افزایش انعطاف‌پذیری شناختی فوتبالیست‌های ماهر و نیمه‌ماهر در گروه آزمایش در مقایسه با گروه شم شده است، ولی بر انعطاف‌پذیری شناختی فوتبالیست‌های مبتدی تأثیر معناداری را نداشته است.

جدول ۵. نتایج تحلیلANCOVA برای بررسی اثر tDCS بر تصمیم‌گیری اجتماعی فوتبالیست‌ها در گروه آزمایش و شم
Table 5. Results of the ANCOVA to investigate the effect of tDCS on the social decision-making of footballplayers in the experimental and sham groups

منبع	مجموع مجذورات	درجه آزادی	میانگین مجذورات	F	*P*	ضریب اتا	توان آزمون
پیش‌آزمون	۱۳۲۸۱/۳۶	۱	۱۳۲۸۱/۳۶	۵۹/۳۴	۰/۰۰۱	۰/۵۱۰	۱
گروه	۱۵۸۵۸/۱۰	۱	۱۵۸۵۸/۱۰	۷۰/۸۶	۰/۰۰۱	۰/۵۵۴	۱
خطا	۱۲۷۶۶/۶۰	۵۷	۲۲۳/۷۸				

همانطور در جدول شماره ۵ مشاهده می‌شود، تفاوت بین دو گروه آزمایش و شم در متغیر تصمیم‌گیری اجتماعی از لحاظ آماری معنادار می‌باشد (F=۷۰/۸۶، p=۰/۰۰۱). با توجه به بالاتر بودن میانگین در گروه آزمایش، تحریک الکتریکی مغز باعث افزایش تصمیم‌گیری اجتماعی فوتبالیست‌ها در گروه آزمایش شد.

نتایج آزمون نسبت‌های چندگانه اثرهای تعامل زمان (درون آزمودنی‌ها) مربوط به انعطاف‌پذیری شناختی در فوتبالیست‌های ماهر، نیمه‌ماهر و مبتدی در گروه آزمایش و شم در جدول شماره ۶ ارائه شده است.

جدول ۶. نتایج آزمون نسبت‌های چندگانه اثرهای تعامل زمان (درون آزمودنی‌ها) مربوط به تصمیم‌گیری اجتماعی
Table 7. Results of the multiple interactions of time by group (within subjects) on social decision-making

گروه	منبع	مجموع مجذورات	df	میانگین مجذورات	F	*P*	مجذور اتا
ماهر	زمان	۸۲۸/۱۰	۱	۸۲۸/۱۰	۱۸/۳۳	۰/۰۰۱	۰/۵۰۵
	زمان*گروه	۸۲۸/۱۰	۱	۸۲۸/۱۰	۱۸/۳۳	۰/۰۰۱	۰/۵۰۵
نیمه-	زمان	۲۶۸۹/۶۰	۱	۲۶۸۹/۶۰	۴۴/۳۴	۰/۰۰۱	۰/۷۱۱
ماهر	زمان*گروه	۳۴۵۹/۶۰	۱	۳۴۵۹/۶۰	۵۷/۰۳	۰/۰۰۱	۰/۷۶۰
مبتدی	زمان	۲۴۶۴/۹۰	۱	۲۴۶۴/۹۰	۷/۴۰	۰/۰۱۴	۰/۲۹۱
	زمان*گروه	۵۱۵۲/۹۰	۱	۵۱۵۲/۹۰	۱۵/۴۷	۰/۰۰۱	۰/۴۶۲

همانطور که در جدول شماره ۶ مشاهده می‌شود، گذشت زمان اثر معناداری بر تصمیم‌گیری اجتماعی ورزشکاران ماهر و نیمه‌ماهر دارد (p = ۰/۰۰۱). تعامل معناداری بین گروه و زمان در تصمیم‌گیری اجتماعی ورزشکاران ماهر و نیمه‌ماهر وجود دارد (p = ۰/۰۰۱)، ولی گذشت زمان و تعامل گروه و زمان در ورزشکاران مبتدی معنادار نمی‌باشد (p>۰/۰۵).

جدول ۷. نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی برای متغیر تصمیم‌گیری اجتماعی در گروه‌های پژوهش

Table 7. Results of the Bonferroni post hoc t-tests for pairwise comparisons between study groups on social decision-making

گروه (I)	گروه (J)	تفاوت میانگین‌ها (I-J)	خطای استاندارد	سطح معناداری
آزمایش ماهر	آزمایش نیمه‌ماهر	−۱۴/۰۸	۶/۶۰	۰/۵۶۷
	آزمایش مبتدی	−۹/۲۴	۷/۰۲	۱
	شم ماهر	۲۵/۱۵	۶/۷۶	۰/۰۰۷
	شم نیمه‌ماهر	۲۱/۰۴	۶/۵۸	۰/۰۳۵
	شم مبتدی	۲۸/۲۹	۶/۶۱	۰/۰۰۱
آزمایش نیمه‌ماهر	آزمایش مبتدی	۴/۸۳	۶/۸۳	۱
	شم ماهر	۳۹/۲۳	۶/۶۴	۰/۰۰۱
	شم نیمه‌ماهر	۳۵/۱۲	۶/۵۹	۰/۰۰۱
	شم مبتدی	۴۲/۳۷	۶/۵۸	۰/۰۰۱
آزمایش مبتدی	شم ماهر	۳۴/۳۹	۶/۶۴	۰/۰۰۱
	شم نیمه‌ماهر	۳۰/۲۸	۶/۹۷	۰/۰۰۱
	شم مبتدی	۳۷/۵۴	۶/۸۱	۰/۰۰۱

برای این که نشان دهیم بین کدام یک از گروه‌های ورزشکاران (ماهر، نیمه‌ماهر و مبتدی) تفاوت معناداری وجود دارد از آزمون تعقیبی بونفرونی استفاده شد. همان‌طور که در جدول فوق مشاهده می‌شود، بین ورزشکاران گروه آزمایش (ماهر، نیمه‌ماهر و مبتدی)، تفاوت معناداری از تأثیر تحریک الکتریکی مغز بر تصمیم‌گیری اجتماعی فوتبالیست‌ها وجود ندارد.

نتایج آزمون بونفرونی نشان داد که تحریک الکتریکی مغز بر تصمیم‌گیری اجتماعی فوتبالیست‌ها در تمامی‌گروه‌های آزمایش (ورزشکاران ماهر، نیمه‌ماهر و مبتدی) در مقایسه با گروه شم معنادار می‌باشد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که تحریک الکتریکی مغز باعث بهبود تصمیم‌گیری اجتماعی در فوتبالیست‌های ماهر، نیمه‌ماهر و مبتدی شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف تعیین اثربخشیtDCS بر انعطاف‌پذیری شناختی و تصمیم‌گیری اجتماعی در بازیکنان فوتبال انجام شد. به طور کلی، نتایج نشان داد که tDCS منجر به افزایش معنادار انعطاف‌پذیری شناختی و بهبود تصمیم‌گیری اجتماعی در فوتبالیست‌های گروه آزمایش در مقایسه با گروه شم شده است.

همچنین، نتایج آزمون تعقیبی نشان داد که تغییرات ایجاد شده در ورزشکاران با سطوح مختلف خبرگی متفاوت بوده است، به گونه‌ای که tDCS باعث افزایش انعطاف‌پذیری شناختی فوتبالیست‌های ماهر و نیمه‌ماهر در گروه آزمایش در مقایسه با گروه شم شده است ولی بر انعطاف‌پذیری شناختی فوتبالیست‌های مبتدی تأثیر معناداری را نداشته اشت. علاوه بر این، نتایج نشان داد که tDCS بر بهبود تصمیم‌گیری اجتماعی در تمامی فوتبالیست‌های ماهر، نیمه‌ماهر و مبتدی در گروه آزمایش در مقایسه با گروه شم تأثیر معناداری داشته است.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تحریک آندی قشر پیشانی منجر به افزایش نمره انعطاف‌پذیری شناختی فوتبالیست‌های ماهر و نیمه‌ماهر در گروه آزمایش نسبت به گروه شم شده است. با توجه به این یافته می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که تمرین، تجربه و سطوح متفاوت خبرگی نقشی انکارناپذیر در توسعه این توانمندی ایفا می‌کنند. نتایج حاصل از این یافته با تحقیقات مختلفی که اثربخشی تحریک الکتریکی مغز بر انعطاف‌پذیری شناختی را بررسی کرده و برتری افراد ماهر را در این قابلیت نشان داده‌اند؛ از جمله نتایج پژوهش‌های کافمن و همکاران (۲۰۱۴)، هوی، امونسون، آرنولد، تومسون[1] و همکاران (۲۰۱۶) و جانگ‌می، یانگ‌هی، میان‌هاوان و ساکهون[2](۲۰۱۵)، هم‌سو

1. Hoy, Emonson, Arnold &Thomson

2. Jungmi, Yun-hee, Myoung-Hwan & Sukhun

است. همچنین با مطالعه فیسر و همکاران (۲۰۱۴)، جفری و همکاران (۲۰۰۷)، بهرامی، مرادی و اطاعتی (۲۰۲۱)، نعیمی تاجدار و همکاران (۲۰۲۰) که با بررسی تأثیر تحریک الکتریکی قشر پیش‌پیشانی بر ارزیابی شناختی در ناحیه پیشانی نشان دادند که این روش بر انعطاف‌پذیری شناختی موثر بوده است، هم‌خوان است. همچنین، نتایج به دست آمده در این پژوهش با نتایج تحقیقات برونی[1] و همکاران (۲۰۱۱) و یوتز و همکاران (۲۰۱۰) مبنی بر افزایش عملکرد شناختی بوسیله tDCS سازگاری دارد.

انعطاف‌پذیری شناختی، توانایی برای ساختن یا بازسازی دانش شخصی به شیوه‌های مختلف به منظور پاسخ به نیازهای موقعیتی است و به توانایی انسان برای سازگاری با استراتژی‌های فرایند شناختی جهت تصمیم‌گیری سریع و مقابله با شرایط جدید و غیرمنتظره در محیط اشاره دارد (چریسیکو و همکاران، ۲۰۱۳). اگرچه انعطاف‌پذیری می‌تواند ظرفیت سازگاری افراد باشد، اما این سازگاری همیشه اتفاق نمی‌افتد. یکی از فنون درمانی عصب‌شناختی برای بهبود انعطاف‌پذیری شناختی، tDCS است. در واقع، تحریک آندی قشر پیشانی جانبی چپ، کارایی تعدادی از عملکردهای شناختی مانند حافظه کاری، نفوذ کلامی، خلاقیت شناختی، توانایی برنامه‌ریزی و انعطاف‌پذیری شناختی را ارتقاء می‌دهد (زمستانی، ایزدپناه و سلیمانی، ۲۰۱۹؛ حسین پناهی و زمستانی، ۲۰۲۰؛ وینبرگر، گرین و چریسیکو[2]، ۲۰۱۷). اینکولانو و کوهن‌کادوش[3](۲۰۱۴) بیان کردند که تحریک الکتریکی مغز می‌تواند مسیر تازه‌ای برای پیشرفت در بهبود عملکرد دانش اعصاب و توانبخشی عصبی ایجاد نماید.

یکی دیگر از یافته‌های پژوهش حاضر این بود که tDCS بر تصمیم‌گیری اجتماعی فوتبالیست‌های ماهر، نیمه‌ماهر و مبتدی گروه آزمایش تأثیر داشته است. نتایج آزمون نسبت‌های چندگانه اثرهای تعامل زمان (درون آزمودنی‌ها) نشان داد که گذشت زمان اثر معناداری روی تصمیم‌گیری اجتماعی ورزشکاران ماهر، نیمه‌ماهر و مبتدی دارد. نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی نشان داد که بین ورزشکاران گروه آزمایش (ماهر، نیمه‌ماهر و مبتدی)، تفاوت معناداری از تأثیر تحریک الکتریکی مغز بر تصمیم‌گیری اجتماعی فوتبالیست‌ها وجود ندارد. تحریک الکتریکی مغز بر تصمیم‌گیری اجتماعی فوتبالیست‌های تمامی گروه‌های آزمایش در مقایسه با گروه شم معنادار می‌باشد و با توجه با بالاتر بودن میانگین‌ها در گروه آزمایش می‌توان نتیجه گرفت که تحریک الکتریکی مغز باعث افزایش تصمیم‌گیری اجتماعی فوتبالیست‌ها شده است. بنابراین، می‌توان گفت که تصمیم‌گیری اجتماعی در ورزشکاران می‌تواند به‌وسیله tDCS تقویت شود.

تصمیم‌گیری اجتماعی شامل انتخاب رشته‌ای از اعمال بین طبقه مشخصی از گزینه‌ها با یک هدف خاص در ذهن است و دارای سه مؤلفه: گزینه‌ها یا رشته‌ای از اعمال، عقاید و انتظارات از گزینه‌ها در دسترسی به هدف، و انتظارات نتیجه (مثبت یا منفی) است. هدف تصمیم‌گیری اجتماعی افزایش دستاوردها یا مقدار انتظارات از نتیجه و استفاده از اطلاعات در جهتی است که این هدف به انجام برسد (چاپوآنو و همکاران، ۲۰۱۸).

در خصوص تأثیر tDCS بر کنش‌های اجتماعی و تصمیم‌گیری اجتماعی، یافته‌های متناقض و محدودی گزارش شده است. به عنوان مثال، سلارو و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند که اعمال کاتدی tDCS روی ناحیه پیش‌پیشانی راست می‌تواند تمایل افراد به مجازات رفتار ناعادلانه را در بازی اولتیماتوم به طور معناداری کاهش دهد.

در بررسی پژوهش‌های انجام شده در راستای موضوع پژوهش حاضر، نتایج غالب پژوهش‌های انجام شده از جمله نتایج پژوهش‌های کافمن، کلارک و پراسورمن (۲۰۱۴)، هوی، امونسون، آرنولد، تومسون و همکاران (۲۰۱۶) و جانگ‌می، یانگ‌هی، میان‌هاوان و ساک‌هون (۲۰۱۵)، با نتایج این پژوهش هم‌خوان بود. کانسون و همکاران (۲۰۱۵) نیز در مطالعه خود به بررسی اثربخشی تحریک الکتریکی مغز بر شناخت اجتماعی و اطلاعات عاطفی با تحریک بخش پیش‌مغزی میانی- خلفی نشان دادند که تحریک الکتریکی مغز توانایی ذهن‌خوانی و در نتیجه تصمیم‌گیری را افزایش داده است. اما پژوهش کولزاتو و همکاران (۲۰۱۵) تأثیر tDCS در برهمکنش‌های اجتماعی و تصمیم‌گیری اجتماعی را مورد تأیید قرار نداده است.

یک تبیین نورولوژیکی نتایج پژوهش حاضر می‌تواند باشد که تأثیرات مشاهده‌شده ناشی از تحریک آندی با دپلاریزه کردن نورونی موجب تغییر در استراحت نورونی می‌شود و تحریک‌پذیری آن ناحیه را افزایش می‌دهد. ممکن است شبکه‌های کرتکسی تشکیل‌دهنده انتخاب پاسخ، بیشتر از اعمال شناختی تحت تأثیر tDCS قرار گیرند. به‌این‌ترتیب، شبکه‌هایی که در انواع دیگر تکالیف شناختی درگیر هستند نیز ممکن است تأثیر بپذیرند. میزان تأثیر

1. Brunoni
2. Weinberger, Green, & Chrysikou
3. Iuculano& Cohen kadosh

tDCSدر ناحیه مورد نظر به قطبیت الکترود (آندی، کاتدی) در طول زمان تحریک و ناحیه مورد تحریک در مغز بستگی دارد. بنابراین tDCS آندی موجب آثار بهبود تحریکی می‌شود که شاید سطوح گلوتامات، آمینواسید مرتبط با شناخت، انعطاف‌پذیری شناختی، بازشناسی حافظه، یادگیری محرک-پاسخ، و تصمیم‌گیری اجتماعی را افزایش دهد (نیچه و همکاران، ۲۰۱۵؛ هورکزاک و همکاران، ۲۰۲۳).

پژوهش حاضر همانند هر مطالعه دیگری با محدودیت‌هایی همراه بود. از محدودیت‌های این پژوهش می‌توان به کمبود پیشینه پژوهشی در رابطه با تأثیر tDCS بر انعطاف‌پذیری شناختی و تصمیم‌گیری اجتماعی در ورزشکاران اشاره کرد. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی این مداخله در سایر شهرها و در میان ورزشکاران رشته‌های ورزشی گوناگون تکرار شود تا بتوان به یک قابلیت تعمیم‌پذیری بالاتری دست یافت.

همچنین فقدان انجام پیگیری از محدودیت‌های دیگر این پژوهش بود که پیشنهاد می‌شود در تحقیقات بعدی پیگیری صورت گیرد تا پایداری اثرات آن بیشتر آشکار شود. در نهایت، استفاده از پرسشنامه و تسک کامپیوتری به عنوان ابزار گردآوری داده‌ها نیز تعمیم‌پذیری نتایج را محدود می‌کند. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی از ابزارهای متفاوت دیگری نیز برای بررسی اثرات این مداخله بر روی متغیرهای پژوهش استفاده گردد.

مطالعات بیشتر در آینده بر روی بازیکنان فوتبال با سطوح مختلف عملکردی با استفاده از پروتکل‌های tDCS با تعداد جلسات و مدت زمان تحریک بیشتر یا موقعیت الکترود تحریکی متفاوت و یا افزایش شدت جریان جهت تحریک جهت بررسی اثرات بالقوه تحریک الکتریکی به منظور بهبود انعطاف‌پذیری شناختی و تصمیم‌گیری اجتماعی بازیکنان فوتبال مورد نیاز است.

همچنین پیشنهاد می‌شود اثرات tDCS با سایر مداخلات روان‌شناختی از جمله تمرینات ذهن‌آگاهی و تصویرسازی ذهنی جهت بهبود کارکردهای شناختی و عملکرد ورزشی بازیکنان فوتبال مورد مقایسه قرار گیرد.

سهم نویسندگان

مقاله حاضر مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته روانشناسی شناختی دانشگاه کردستان، متعلق به نویسنده اول و با راهنمایی نویسنده دوم از گروه روانشناسی و مشاوره نویسنده سوم از گروه تربیت بدنی این دانشگاه می‌باشد.

تضاد منافع

بدین‌وسیله نویسندگان تصریح می‌نمایند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در خصوص پژوهش حاضر وجود ندارد.

منابع

1. Accornero, N., Li Voti, P., La Riccia, M., & Gregori, B. (2007). Visual evoked potentials modulation during direct current cortical polarization. *Experimental Brain Research, 178*(2), 261-266.
2. Araújo, D., Davids, K., & Hristovski, R. (2006). The ecological dynamics of decision making in sport. *Psychology of Sport and Exercise*, *7*(6), 653-676.
3. Asaadi, S., Ashrafi, F., Omidbeigi, M., Nasiri, Z., Pakdaman, H., & Amini-Harandi, A. (2016). Persian version of frontal assessment battery: Correlations with formal measures of executive functioning and providing normative data for Persian population. *Iranian Journal of Neurology*, *15*(1), 16-22.
4. 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. In Persian.
5. Bailey, R., Collins, D., Ford, P., MacNamara, Á., Pearce, G., & Toms, M. (2010). *Participant development in sport: An academic review* (pp. 1-134). Leeds: sports coach UK.
6. Baker, J., Cote, J., & Abernethy, B. (2003). Sport-specific practice and the development of expert decision-making in team ball sports. *Journal of applied sport psychology*, *15*(1), 12-25.

(Eds.), Psychological foundations of sport. Boston, MA: Allyn & Bacon. pp, 484-502.
16. DaSilva, A. F., Volz, M. S., Bikson, M., & Fregni, F. (2011). Electrode positioning and montage in transcranial direct current stimulation. *Journal of Visualized Experiments*, (51), e2744.
17. Dennis, J. P., & Vander Wal, J. S. (2010). The cognitive flexibility inventory: Instrument development and estimates of reliability and validity. *Cognitive Therapy and Research*, *34*(3), 241-253.
18. Ferrucci, R., Mameli, F., Guidi, I., Mrakic-Sposta, S., Vergari, M., Marceglia, S. E. E. A., ... & Priori, A. (2008). Transcranial direct current stimulation improves recognition memory in Alzheimer disease. *Neurology*, *71*(7), 493-498.
19. Flöel, A. (2014). tDCS-enhanced motor and cognitive function in neurological diseases. *Neuroimage*, *85*, 934-947.
20. Güth, W., Schmittberger, R., & Schwarze, B. (1982). An experimental analysis of ultimatum bargaining. *Journal of Economic Behavior & Organization*, *3*(4), 367-388.
21. Gutnik, L. A., Hakimzada, A. F., Yoskowitz, N. A., & Patel, V. L. (2006). The role of emotion in decision-making: A cognitive neuroeconomic approach towards understanding sexual risk behavior. *Journal of Biomedical Informatics*, *39*(6), 720-736.
22. Hancock, D. J., & Ste-Marie, D. M. (2013). Gaze behaviors and decision making accuracy of higher-and lower-level ice hockey referees. *Psychology of Sport and Exercise*, *14*(1), 66-71.
23. Horczak, P., Wang, C., De Witte, S., De Smet, S., Remue, J., De Raedt, R., ... & Baeken, C. (2023). Combining transcranial direct current stimulation with group cognitive behavioral therapy developed to treat rumination: a clinical pilot study. *Frontiers in Neurology*, *14*, 1167029.
24. Hoseinpanahi, O. & Zemestani, M. (2020). The effect of Transcranial Direct-Current Stimulation (TDCS) on Neuropsychological indices Associated with Social Skills in Children with Autism. *Journal of Cognitive psychology*, *8*(1). 94-106.

7. Boggio, P. S., Bermpohl, F., Vergara, A. O., Muniz, A. L., Nahas, F. H., Leme, P. B., ... & Fregni, F. (2007). Go-no-go task performance improvement after anodal transcranial DC stimulation of the left dorsolateral prefrontal cortex in major depression. *Journal of Affective Disorders*, *101*(1-3), 91-98.
8. Brunoni, A. R., Ferrucci, R., Bortolomasi, M., Vergari, M., Tadini, L., Boggio, P. S., ... & Priori, A. (2011). Transcranial direct current stimulation (tDCS) in unipolar vs. bipolar depressive disorder. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, *35*(1), 96-101.
9. Burton, N. W., Pakenham, K. I., & Brown, W. J. (2010). Feasibility and effectiveness of psychosocial resilience training: a pilot study of the READY program. *Psychology, Health & Medicine*, *15*(3), 266-277.
10. Capuano, N., Chiclana, F., Fujita, H., Herrera-Viedma, E., & Loia, V. (2017). Fuzzy group decision making with incomplete information guided by social influence. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, *26*(3), 1704-1718.
11. Casanova, F., Oliveira, J., Williams, M., & Garganta, J. (2009). Expertise and perceptual-cognitive performance in soccer: a review. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, *9*(1), 115-122.
12. Chrysikou, E. G., Hamilton, R. H., Coslett, H. B., Datta, A., Bikson, M., & Thompson-Schill, S. L. (2013). Noninvasive transcranial direct current stimulation over the left prefrontal cortex facilitates cognitive flexibility in tool use. *Cognitive neuroscience*, *4*(2), 81-89.
13. Clark, V. P., Coffman, B. A., Trumbo, M. C., & Gasparovic, C. (2011). Transcranial direct current stimulation (tDCS) produces localized and specific alterations in neurochemistry: a 1H magnetic resonance spectroscopy study. *Neuroscience Letters*, *500*(1), 67-71.
14. Colzato, L. S., Sellaro, R., van den Wildenberg, W. P., & Hommel, B. (2015). tDCS of medial prefrontal cortex does not enhance interpersonal trust. *Journal of Psychophysiology*, *29*(4), 131-134.
15. Côté, J., & Hay, J. (2002). *Children's involvement in sport: A developmental perspective.* In J. M. Silva & D. E. Stevens

25. Hoy, K. E., Emonson, M. R., Arnold, S. L., Thomson, R. H., Daskalakis, Z. J., & Fitzgerald, P. B. (2013). Testing the limits: investigating the effect of tDCS dose on working memory enhancement in healthy shams. *Neuropsychologia*, *51*(9), 1777-1784.
26. Iuculano, T., & Cohen Kadosh, R. (2014). Preliminary evidence for performance enhancement following parietal lobe stimulation in developmental dyscalculia. *Frontiers in human neuroscience*, *8*, 38.
27. Jeffery, D. T., Norton, J. A., Roy, F. D., & Gorassini, M. A. (2007). Effects of transcranial direct current stimulation on the excitability of the leg motor cortex. *Experimental brain research*, *182*(2), 281-287.
28. Jo, J. M., Kim, Y. H., Ko, M. H., Ohn, S. H., Joen, B., & Lee, K. H. (2009). Enhancing the working memory of stroke patients using tDCS. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, *88*(5), 404-409.
29. Jung, J. H., & Lee, K. H. (2010). The determinants of private tutoring participation and attendant expenditures in Korea. *Asia Pacific Education Review*, *11*(2), 159-168.
30. Knoch, D., Gianotti, L. R., Pascual-Leone, A., Treyer, V., Regard, M., Hohmann, M., & Brugger, P. (2006). Disruption of right prefrontal cortex by low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation induces risk-taking behavior. *Journal of Neuroscience*, *26*(24), 6469-6472.
31. Moeinirad S, Abdoli B, Farsi A. R, Ahmadi M. (2020). Comparison of Quiet Eye Duration and Accuracy of Performance in Jump Shot of Skilled and Less Skilled Basketball Players. *Motor Behavior*. *12*(40) :51-66. In Persian. Doi: 10.22089/mbj.2018.6219.1705
32. Mohammadzadeh, H., Parsafar, P., & Dehghanizadeh, J. (2019). Comparison of staring and decision-making behaviors in novice and skilled football players. *Journal of Sports and Motor Development and Learning*, *11*(1), 123-133. In Persian.
33. Naemi Tajdar, M., Namazi Zadeh, M., Nasri, S., & Vaez Mosavi, M. (2020). The Added Effect of Direct Electrical Stimulation of the Brain with Aerobic Exercise on Consolidating Explicit Motor Memory. *Sport Psychology Studies*, *9*(33), 273-292. In Persian.
34. Nitsche, M. A., Boggio, P. S., Fregni, F., & Pascual-Leone, A. (2009). Treatment of depression with transcranial direct current stimulation (tDCS): a review. *Experimental Neurology*, *219*(1), 14-19.
35. Paz, V., Nicolaisen-Sobesky, E., Collado, E., Horta, S., Rey, C., Rivero, M., ... & Gradin, V. B. (2017). Effect of self-esteem on social interactions during the Ultimatum Game. *Psychiatry Research*, *252*, 247-255.
36. Sakamoto, S., Takeuchi, H., Ihara, N., Ligao, B., & Suzukawa, K. (2018). Possible requirement of executive functions for high performance in soccer. *PloS one*, *13*(8), e0201871.
37. Sohrabi, A. & Amani, A (2013). Marital satisfaction and fairness: response to unfairness in the ultimatum game. *Journal of Family Counsceling and Psychotherapy, 1*(3), 53-63.
38. 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.
39. Teo, F., Hoy, K. E., Daskalakis, Z. J., & Fitzgerald, P. B. (2011). Investigating the role of current strength in tDCS modulation of working memory performance in healthy shams. *Frontiers in Psychiatry*, *2*, 45.
40. Turkeltaub, P. E., Gareau, L., Flowers, D. L., Zeffiro, T. A., & Eden, G. F. (2003). Development of neural mechanisms for reading. *Nature Neuroscience*, *6*(7), 767-773.
41. Utz, K. S., Dimova, V., Oppenländer, K., & Kerkhoff, G. (2010). Electrified minds: transcranial direct current stimulation (tDCS) and galvanic vestibular stimulation (GVS) as methods of non-invasive brain stimulation in neuropsychology—a review of current data and future implications. *Neuropsychologia*, *48*(10), 2789-2810.

prefrontal transcranial direct current stimulation (tDCS) on theory of mind, emotion regulation and emotional-behavioral functions in children with autism disorder: A randomized, sham-shamled, and parallel-group study. *Autism Research,* 15(10), 1985-2003.

46. Zemestani, M., Izadpanah, E., & Solaimany, S. (2019). Comparison of the effectiveness of two methods of transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) and play therapy on attention and psychomotor function of children with learning disabilities: a semi-experimental design. *Journal of Urmia University of Medical Sciences 30*(3), 174-186.
42. Vestberg, T., Gustafson, R., Maurex, L., Ingvar, M., & Petrovic, P. (2012). Executive functions predict the success of top-soccer players. *PloS one*, *7*(4), e34731.
43. Weinberger, A. B., Green, A. E., & Chrysikou, E. G. (2017). Using transcranial direct current stimulation to enhance creative cognition: interactions between task, polarity, and stimulation site. *Frontiers in Human Neuroscience*, *11*, 246.
44. Yu, C., Li, J., Liu, Y., Qin, W., Li, Y., Shu, N., ... & Li, K. (2008). White matter tract integrity and intelligence in patients with mental retardation and healthy adults. *Neuroimage*, *40*(4), 1533-1541.
45. Zemestani, M., Hoseinpanahi, O., Salehinejad, M. A., & Nitsche, M. A. (2022). The impact of