Sport Sciences Research Institute of Iran

Winter 2024/ Vol. 12/ No. 46/ Pages 107-128

The Effect of Virtual Reality Games with and without Transcranial Direct-Current Stimulation on the Cognitive Function of Sedentary Adolescent Girls

Nasrin Shahbazi[1], Ali Heyrani[2]*, Ehsan Amiri[3], Daniel Gomez Da Silva Machado[4]

1. PhD Student in Motor Behavior, Razi University, Kermanshah, Iran
2. Associate Professor in Motor Behavior, Razi University, Kermanshah, Iran
3. Assistant Professor in Sports Physiology, Razi University, Kermanshah, Iran
4. Full Professor in Sports Physiology, Federal University of Rio Grande do Norte, Natal, Brazil

Received: 28/08/2023

Accepted: 30/01/2024

Shahbazi, N; Heyrani, A; Amiri, E; & Gomez Da Silva Machado, D. (2024). The Effect of Virtual Reality Games with and without Transcranial Direct-Current Stimulation on the Cognitive Function of Sedentary Adolescent Girls. *Sport Psychology Studies*, 12(46), 107-128. In Persian. DOI: 10.22089/SPSYJ.2024.15524.2432

Abstract

The present study aimed at determining the effect of virtual reality games with and without unilateral transcranial direct-current anodal stimulation on the cognitive function of sedentary adolescent girls. Therefore, 36 adolescent girls were purposively selected based on the inclusion criteria. Then, equal numbers were placed in three control groups, virtual reality + anodal stimulation and virtual reality + sham stimulation. The intervention was implemented for 12 sessions (3 sessions per week). First, sham or anodal stimulation was applied simultaneously on DLPFC and M1 for 20 minutes with a current intensity of 2 mA. Then, virtual reality exercises were performed for 1 hour. The control group did not receive any intervention. N-back tests, reaction time software and cognitive flexibility questionnaire were used to evaluate cognitive performance. The statistical test of the analysis Mixed ANOVA was used at the significance level of 0.05 and $SPSS_{23}$ software. The results showed that the cognitive performance in the anodal stimulation group was superior to the other two groups in the post-test and retention phase (p=0.05). In fact, virtual reality with unihemispheric anodal stimulation has more and more lasting effects on the cognitive function of sedentary adolescent girls.

Keywords: Cognitive Flexibility, Transcranial Direct-Current Stimulation, Working Memory, Sedentary adolescent Girls, Reaction Time, Virtual Reality

* Corresponding Author: Ali Heyrani, Tel: 09187398849
E-mail: ali.heyrani@gmail.com, https://orcid.org/ 0000-0002-6377-2580

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/).

Extended Abstract

Background and purpose

Virtual reality (VR) and transcranial direct current stimulation (tDCS) are two exciting and effective methods that have been proven useful in many studies (Bashir et al., 2022; Sanchez-Martinez, Tapia-Tapia, Villagra-Ortega, Villegas-Arriagada, & Monteiro-Junior, 2023). Interestingly, recent findings have shown that concurrent application of these two strategies might result in greater outcome compared to using them in isolation (Massetti et al., 2017). Nevertheless, those studies were almost conducted on clinical populations and accordingly, there is still dearth of information concerning the efficacy of concomitant use of VR and tDCS in other populations and their associated variables.

Studies have shown that adolescent girls are not active enough, and this might negatively affect their level of cognition (Cui, Li, & Dong, 2022). A large body of evidence has corroborated physical activity (PA) as an effective way to improve cognitive function in adolescents. In this context, based on their enjoyable nature, VR games can be a promising intervention strategy to increase adolescents' engagement in PA (Comeras-Chueca et al., 2021). On the other hand, a growing body of research has demonstrated the effectiveness of tDCS in improving cognitive (Massetti et al., 2017). Taken together, this raises the question of whether applying these two strategies culminates in any synergistic effects on cognitive function in sedentary adolescent girls.

Therefore, in this study, we investigated the effect of VR games with and without tDCS on the cognitive function of sedentary adolescent girls.

Materials and Methods

Thirty-six sedentary adolescent girls voluntarily participated in the current study. They were randomly assigned into 3 experimental groups including: 1) Virtual reality + anodal-tDCS (VR+a-tDCS); 2) Virtual reality + sham-tDCS (VR+sh-tDCS); 3) Control group (CG).

Before the intervention, working memory (WM), reaction time (RT) and cognitive flexibility (CF) were measured with N-Beck software, RT software and CF questionnaire, respectively. Then, VR+a-tDCS and VR+sh-tDCS were involved in 4 weeks of specified virtual reality games, 3 times a week. In VR+a-tDCS group, participants received 20 min of anodal-tDCS at 2 mA intensity before starting the virtual reality game and in the VR+sh-tDCS, participants received 20 min of sham-tDCS at 2 mA intensity before performing the virtual reality game. The CG group followed its normal routine during the 4-week experimental period.

At the end of the 4 weeks' intervention and 2 weeks later, the WM, RT and CF were measured again under a similar condition. The mixed ANOVA (3×3 factorial design, 3 groups and 3 time points) was used for statistical analysis.

Findings

The results showed that there was no significant difference in RT, WM and CF among the experimental groups at baseline *(p> 0.05)*. However, our results showed that the simple RT in the VR+a-tDCS group was significantly lower compared to the CG group at post-test *(p=0.001)* and retention *(p=0.009)*. No significant differences were seen among other groups at post-test and retention measurements *(p> 0.05)*.

The results also demonstrated that the Selective RT in VR+a-tDCS group was significantly lower than that of the CG *(p=*

0.001) and VR+sh-tDCS *(p= 0.001)* group at post-test measurements while no significant differences were seen among other groups *(p> 0.05)*. Similarly, 2 weeks after the end of interventions phase, the Selective RT in VR+a-tDCS group was significantly lower compared to the VR+sh-tDCS and CG groups (*p= 0. 005; p= 0.001, respectively*).

The results revealed that the WM in the VR+a-tDCS group was significantly higher than the WM in the CG at post-test *(p=0.002)* and also retention *(p=0.01)*. No significant differences were seen among other groups at post-test and retention measurements *(p> 0.05)*.

Finally, no significant difference was seen in the CF among the experimental groups at any stages of the intervention phase.

Conclusion

The novel finding of this study was that the cognitive function in the VR+a-tDCS group was significantly higher than the VR+sh-tDCS and control groups both at post-test and the retention test, and interestingly, there was no significant difference in cognitive function between VR+sh-tDCS and control groups.

This indicates the efficacy of adding a-tDCS to the normal routine of VR games as a novel strategy for positively affecting cognitive function of sedentary adolescent girls. Recent findings provide more support for this notion. For instance, a large body of evidence has shown that tDCS could affect a wide range of cognitive activities possibly via increasing the excitability of the target areas in the brain, which subsequently might give rise to increased dopamine, decreased GABA, and increased firing frequency of the neural circuits (Aghajani, Null, & Alizadeh Goradel, 2019). Moreover, the increment in cognitive function in VR+a-tDCS group might be caused by chronic application of tDCS leading to long term potentiation (LTP) mechanisms (Moslemi, Azmodeh, Tabatabaei, & Alivandi Vafa, 2019). Eventually, it seems that using dual-site tDCS (concurrent stimulation of M1 and DLPFC) could induce more excitability and strengthen the possible outcomes (Amini Masouleh, Ghazanfariyan Pour, & Beirami, 2019).

Keywords: Cognitive flexibility, Transcranial direct current stimulation, Working memory, Sedentary adolescent girls, Reaction time, Virtual reality

Article Message

It seems that applying the anodized tDCS protocol simultaneously on M1 and DLPFC can increase the effectiveness of VR exercises and improve performance in cognitive tasks. Therefore, considering the usefulness of the introduced intervention, it is suggested that it clinically be trialed in different societies such as Parkinson's patients, multiple sclerosis, the elderly, and so on. It is also suggested that due to the capability of the Kinect device, the exercises should be performed in pairs so that the probability of effectiveness of the exercises will be increased by spending less time and making the activity competitive.

Compliance with Ethical Guidelines

This study was approved by the ethics committee in biomedical research at Razi University with the code IR.RAZI.REC.1401.058 and was carried out after obtaining the clinical trial code IRCT20221124056598N1 from the Iranian Registry of Clinical Trial.

Funding

This research received no external funding.

Conflicts of Interest

The authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

This article is derived from the Ph.D. dissertation of the autho. r

Thanks are due to all participants of this study, the respected officials of the

university, and all those who accompanied the researchers in collecting data.

Reference

1. Aghajani, S., Null, N., & Alizadeh Goradel, J. (2019). The effectiveness of Transcendental Direct Electric Stimulation (TDCS) on improving cognitive functions and problem solving skills of students. Journal of school psychology, 7(4), 20-38. (persian)
2. Amini Masouleh, M., Ghazanfariyan Pour, S., & Beirami, M. (2019). Comparison of the Effectiveness of Different transcranial direct current stimulation Protocols (tDCS) with Cognitive Exercises in Improving Response Inhibition in Normal Individuals. Shenakht Journal of Psychology and Psychiatry, 6(3), 1-14. (persian)
3. Bashir, S., Bamugaddam, A., Alasheikh, M., Alhassan, T., Alhaidar, S., Almutairi, A. K., . . . Albaiji, B. A. (2022). Anodal transcranial direct current stimulation (tDCS) over the primary motor cortex (M1) enhances motor response inhibition and visual recognition memory. Medical Science Monitor Basic Research, 28, e934180-934181.
4. Comeras-Chueca, C., Marin-Puyalto, J., Matute-Llorente, A., Vicente-Rodriguez, G., Casajus, J. A., & Gonzalez-Aguero, A. (2021). Effects of active video games on health-related physical fitness and motor competence in children and adolescents with overweight or obesity: systematic review and meta-analysis. JMIR Serious Games, 9(4), e29981.
5. Cui, J., Li, L., & Dong, C. (2022). The associations between specific-type sedentary behaviors and cognitive flexibility in adolescents. Frontiers in human neuroscience, 16, 910624.
6. Massetti, T., Crocetta, T. B., Silva, T. D. d., Trevizan, I. L., Arab, C., Caromano, F. A., & Monteiro, C. B. d. M. (2017). Application and outcomes of therapy combining transcranial direct current stimulation and virtual reality: a systematic review. Disability and Rehabilitation: Assistive Technology, 12(6), 551-559.
7. Moslemi, B., Azmodeh, M., Tabatabaei, M., & Alivandi Vafa, M. (2019). The effect of transcranial direct current stimulation on dorsolateral prefrontal cortex: A review of its role on cognitive functions. The Neuroscience Journal of Shefaye Khatam, 8(1), 129-144.(persian)
8. Sanchez-Martinez, J., Tapia-Tapia, D., Villagra-Ortega, A., Villegas-Arriagada, J., & Monteiro-Junior, R. (2023). Effect of active video games on cognitive functions in healthy children and adolescents. Systematic review of randomized controlled studies. Journal of Movement & Health, 20(1).

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پژوهشگاه تربیت‌بدنی و علوم ورزشی
زمستان ۱۴۰۲، دوره ۱۲، شماره ۴۶، صفحه‌های ۱۲۸-۱۰۷

اثر بازی‌های واقعیت مجازی با و بدون تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای بر عملکرد شناختی دختران نوجوان کم‌تحرک

نسرین شهبازی[۱]، علی حیرانی[۲*]، احسان امیری[۳]، دَنیل گومز داسیلوا ماچادو[۴]

۱. دانشجوی دکتری رفتار حرکتی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۲. دانشیار رفتار حرکتی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۳. استادیار فیزیولوژی ورزشی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۴. استاد تمام فیزیولوژی ورزشی، دانشگاه فدرال ریو گرانده دو نورته، ناتال، برزیل

Shahbazi, N; Heyrani, A; Amiri, E; & Gomez Da Silva Machado, D. (2024). The Effect of Virtual Reality Games with and without Transcranial Direct-Current Stimulation on the Cognitive Function of Sedentary Adolescent Girls. *Sport Psychology Studies*, 12(46), 107-128. In Persian. DOI: 10.22089/SPSYJ.2024.15524.2432

دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۶/۰۶
پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۱۱/۱۰

چکیده

مطالعه حاضر با هدف تعیین اثر بازی‌های واقعیت مجازی با و بدون تحریک آنودال جریان مستقیم فراجمجمه‌ای یک‌طرفه بر عملکرد شناختی دختران نوجوان کم‌تحرک اجرا شد؛ بر این اساس، ۳۶ دختر نوجوان براساس معیارهای ورود، به‌صورت هدفمند انتخاب شدند. سپس به تعداد مساوی در سه گروه کنترل، واقعیت مجازی + تحریک آنودال و واقعیت مجازی + تحریک شم قرار گرفتند. مداخله به‌مدت ۱۲ جلسه (سه جلسه در هفته) اجرا شد. ابتدا تحریک شم یا آنودال به مدت ۲۰ دقیقه با شدت ۲ میلی‌آمپر روی DLPFC و M1 به‌صورت هم‌زمان اعمال شد. سپس تمرینات واقعیت مجازی به مدت ۱ ساعت اجرا شد. گروه کنترل هیچ مداخله‌ای دریافت نکرد. برای ارزیابی عملکرد شناختی از آزمون‌های ان-بک، نرم‌افزار زمان واکنش و پرسش‌نامه انعطاف‌پذیری شناختی استفاده شد. برای تحلیل داده‌ها، آزمون آماری تحلیل واریانس مرکب در سطح معناداری ۰/۰۵ و نرم‌افزار اس‌پی‌اس‌اس نسخه ۲۳ به کار رفت. نتایج نشان داد، عملکرد شناختی در گروه تحریک آنودال در مقایسه با دو گروه دیگر در مرحله پس‌آزمون و پیگردی برتری داشت (P<۰/۰۵). درواقع واقعیت مجازی همراه با تحریک آنودال به‌صورت دو موضعی اثرات بیشتر و ماندگارتری بر عملکرد شناختی دختران نوجوان کم‌تحرک دارد.

واژگان کلیدی: **انعطاف‌پذیری شناختی، تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای، حافظه کاری، دختران نوجوان کم‌تحرک، زمان واکنش، واقعیت مجازی.**

* Corresponding Author: Ali Heyrani, Tel: 09187398849
E-mail: ali.heyrani@gmail.com, https://orcid.org/ 0000-0002-6377-2580

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

فعالیت بدنی[1](PA) در دوران نوجوانی یک عامل کلیدی در سلامت جسمی و روانی است (اندرمو[2] و همکاران، ۲۰۲۰)؛ با وجود این، کاهش PA در نوجوانان موضوعی جهانی شده است و توجه دولت‌ها و سازمان‌های بهداشتی در سراسر جهان را به خود جلب کرده است (کوی[3] و همکاران، ۲۰۲۲). اوایل نوجوانی (۱۲ تا ۱۷ سالگی) (حلال[4] و همکاران، ۲۰۰۶) دوره‌ای بسیار مهم است؛ زیرا کاهش درخورتوجهی در سطح PA از دوران کودکی تا نوجوانی وجود دارد (تلما[5] و همکاران، ۲۰۰۵). با توجه به تفاوت‌های مربوط به جنسیت، درگیر کردن دختران نوجوان در PA اهمیت ویژه‌ای دارد؛ زیرا کاهش وابسته به سن در دختران بیشتر از پسران است (دومیت[6] و همکاران، ۲۰۱۱).

در همه ادوارِ رشد و تکامل انسان به‌ویژه در دوره نوجوانی، همانند سایر مؤلفه‌های رشدی، مؤلفه شناختی از اهمیت بسیاری برخوردار است (کوپر[7] و همکاران، ۲۰۱۸). عملکرد شناختی به فرایندهای ذهنی در سطوح بالا همچون تصمیم‌گیری و قضاوت یا در سطوح نازل‌تر نظیر حافظه و توجه اشاره دارد. درمجموع شناخت را می‌توان به‌عنوان اعمال درگیر مغز در ادراک و نمود این فرایندها در محیط خارجی تعریف کرد و پذیرفته شده است که شناخت نیازمند فرایندهای ذهنی در سطوح متعددی است (هیرشفلد[8] و گلمن[9]، ۱۹۹۴).

نوجوانی یک دوره حیاتی از زندگی برای فرایند بلوغ شناختی است و بنابراین پیش‌بینی‌کننده سلامت بزرگسالان است (گیل[10] و همکاران، ۲۰۱۰). حافظه کاری[11] (WM)، زمان واکنش[12] (RT) و انعطاف‌پذیری شناختی[13] (CF) سه عامل مهم در عملکرد شناختی هستند و با PA مرتبط‌اند (کوپر و همکاران، ۲۰۱۸؛ کوی و همکاران، ۲۰۲۲؛ ژیدونگ و همکاران، ۲۰۲۱)؛ بنابراین PA و ورزش، عاملی مهم برای بهبود عملکرد شناختی در نوجوانان محسوب می‌شوند (کوپر و همکاران، ۲۰۱۶). به‌طورکلی پژوهش‌ها نشان داده‌اند که PA بر پیشگیری از تخریب عملکرد شناختی و توسعه عملکرد ذهنی و شناختی اثرگذار است (المبرگ[14]، ۲۰۱۰). این فرایندهای بهبود شناختی در اثر ورزش احتمالاً به دلیل افزایش تولید فاکتور نوروتروپیک مشتق‌شده از مغز[15] (BDNF) است که نقش مهمی در پلاستیسیتی سیناپس و به‌خصوص در یادگیری و حافظه دارد (گومز پینیلا و هیلمن[16]، ۲۰۱۳).

ارائه گزینه‌های در دسترس و جذاب برای PA در خانه، بر بسیاری از موانع گزارش‌شده برای بهبود تحرک غلبه خواهد کرد (بیدیس و آیروین[17]، ۲۰۱۰). با توجه به اینکه نوجوانی مرحله حیاتی رشد برای ارتقای PA است، بازی‌های واقعیت مجازی[18] (VR) می‌تواند استراتژی مداخله امیدوارکننده‌ای برای مشارکت‌دادن نوجوانان در PA باشد (فریچ و همکاران، ۲۰۲۱). نسل جدید بازی‌های VR یک فناوری نوظهور است که اخیراً وارد عرصه مراقبت‌های بهداشتی شده است. شواهد اولیه از این بازی به‌عنوان رسانه لذت‌بخش برای PA با شدت سبک تا متوسط پشتیبانی می‌کند (فولی و مدیسون، ۲۰۱۰).

VR شکلی از رابطه انسان–رایانه است که هدف آن ایجاد اشتباه حسی برای فرد مجری است تا محیط مجازی را مشابه با محیط واقعی پندارد و تعامل مناسبی برای انجام تکالیف معین و ویژه به روش کارآمد فراهم کند. این روش فوایدی دارد که می‌توانیم به ارائه تکلیف هدفمند، پرتکرار و همچنین فراهم‌کردن بازخورد و امکان تمرین‌هایی که محیط‌های کلینیکی بی‌بهره از آن هستند، اشاره کنیم (فعال و قاسمی، ۲۰۱۷). درواقع واقعیت مجازی می‌تواند برای گسترش PA و ارتقای سلامت در کودکان و نوجوانان استفاده شود و ابزاری جایگزین یا حداقل پیش‌نیاز برای افراد بی‌تحرک و با آمادگی جسمانی و حرکتی کم باشد و به برنامه‌های مرسوم PA اضافه شود (کومرز چوکا[19]، ۲۰۲۱).

1. Physical Activity
2. Andermo
3. Cui
4. Hallal
5. Telama
6. Dumith
7. Cooper
8. Hirschfeld
9. Gelman
10. Gale
11. Working Memory
12. Reaction Time
13. Cognitive Flexibility
14. Ellemberg
15. Brain-Derived Neurotrophic Factor
16. Gomez Pinilla and Hillman
17. Biddiss and Irwin
18. Virtual Reality
19. Comeras-Chueca

مطالعات نشان داده‌اند، زمانی که فرد بازی را در محیط VR انجام می‌دهد، عملکرد WM بهبود می‌یابد و این اثر به‌ویژه در کسانی که ظرفیت WM کمی دارند، مشهود است (گابانا و همکاران، ۲۰۱۷). همچنین مطالعات دیگر نشان دادند، آموزش حرکتی-شناختی با استفاده از بازی‌های VR یک منبع عملی برای بهبود عملکردهای اجرایی در افراد متفاوت است (دملو سرکیرا[1]، ۲۰۲۰). در مطالعه‌های دیگر، تجزیه‌وتحلیل داده‌ها نشان داد که این بازی‌ها تأثیر مثبتی بر عملکرد تحصیلی و بهبود مهارت‌های شناختی، حرکتی و تحصیلی کودکان دارد (کوراکلی[2] و همکاران، ۲۰۱۷؛ سانچز-مارتینز[3] و همکاران، ۲۰۲۳). درمجموع می‌توان عنوان کرد که این روش تمرینی بسیار پرهیجان و لذت‌بخش بوده و در راستای نیازها و علایق نوجوانان است و می‌توان از این ابزار در جهت بهبود اهداف یادگیری استفاده کرد. براساس تحقیقات، این ابزار می‌تواند زمینه‌ای مناسب برای بهبود عملکرد حرکتی و شناختی باشد و با ایجاد انگیزه در نوجوانان می‌تواند آن‌ها را به سمت فعالیت‌های دنیای واقعی هدایت کند. علاوه‌بر نگهداری و بهبود سطح آمادگی همه‌جانبه افراد، محققان زیادی در تلاش هستند تا به موازات پیشرفت همه‌جانبه فناوری‌های گوناگون، روندهای مداخله‌ای نوینی را برای پربارتر کردن جلسات تمرین با هدف افزایش قابلیت اجرا و یادگیری تکالیف مختلف برنامه-ریزی و خلق کنند (کروگر[4] و همکاران، ۲۰۰۹). در همین راستا امروزه تحقیق درباره کارآمدی تکنیک‌های غیرتهاجمی تحریک مغز در حال افزایش است.

امروزه مطالعات با هدف ارتقای فرایندهای مرتبط با یادگیری و پیشرفت در عملکردهای شناختی و حرکتی از تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای[5] (tDCS) به‌عنوان ابزاری کارآمد همراه با VR استفاده می‌کنند (گرکو و همکاران، ۲۰۱۵؛ کیم و همکاران، ۲۰۱۴؛ لازاری و همکاران، ۲۰۱۵). این روش برای بهبود عملکرد شناختی و حرکتی در تحقیقات اخیر استفاده شده است (مسلمی و همکاران، ۲۰۱۹). tDCS یک تکنیک غیرتهاجمی تعدیل‌کننده مغز است که می‌تواند فرایندهای شناختی را تقویت کند و عملکرد را در وظایف شناختی تغییر دهد (بشیر و همکاران، ۲۰۲۲).

tDCS جریان مستقیم در محدوده ۰/۵ تا ۲ میلی‌آمپر را از طریق جمجمه با استفاده از الکترودها در اندازه ۲۵ تا ۳۵ سانتی‌مترمربع عبور می‌دهد و فعالیت نواحی مختلف مغز را تعدیل می‌کند (گلیوپ اوغلو[6] و همکاران، ۲۰۱۳). این روش فعالیت خود به خودی[7] قشر مغز را تعدیل می‌کند که در آن تحریک آنودال تحریک‌پذیری قشر را از طریق دپلاریزاسیون عصبی افزایش داده و تحریک کاتودال تحریک-پذیری قشر را از طریق هایپرپولاریزاسیون عصبی کاهش می‌دهد (بشیر و همکاران، ۲۰۲۲). سایز الکترود، مکان الکترود، مقدار تحریک، سنجش عملکرد، مدت‌زمان تحریک و خصوصیات افراد اثر زیادی در نقش tDCS بر عملکرد حرکتی و شناختی دارد (اعتمادی و همکاران، ۲۰۲۳). مطالعات تصویربرداری عصبی نشان داده است که نواحی ۴۶ و ۹ برادمن یعنی عمدتاً قشر پیش‌پیشانی پشتی-جانبی[8] (DLPFC) بیشترین ارتباط را با عملکرد شناختی دارند؛ ازاین‌رو این ناحیه یک نقطه کانونی برای تعدیل عصبی است (کارتیکان[9] و همکاران، ۲۰۲۱). در زمینه اثر tDCS بر عملکرد شناختی پژوهش-های متعددی انجام شده و در این پژوهش‌ها بهبود در نتیجه دریافت تحریک مغز اثبات شده است (پرگر[10] و همکاران، ۲۰۲۲؛ ساتورس[11] و همکاران، ۲۰۲۲).

علاوه بر این، شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهد تحریک قشر حرکتی اولیه[12] (M1) می‌تواند عملکردهای شناختی و یادگیری حرکتی را در افراد سالم و در بیماران مبتلا به بیماری‌های عصبی افزایش دهد (بشیر و همکاران، ۲۰۲۲). تحریک آنودال tDCSبر M1 با تقویت طولانی‌مدت (LTP)[13] عصبی فیزیولوژیکی همراه است و انعطاف‌پذیری مغزی را تغییر می‌دهد (گودویل[14] و همکاران، ۲۰۱۳). M1 به‌عنوان یک منطقه مرکزی مغز، انواع مختلفی از ورودی‌ها را از طیف وسیعی از مناطق قشر مغز و زیرقشری دریافت و ادغام می‌کند (بشیر و همکاران، ۲۰۲۲). درواقع تحریک این دو ناحیه (M1 و DLPFC) به‌صورت هم‌زمان می‌تواند

1. de Melo Cerqueira
2. Kourakli
3. Sanchez-Martinez
4. Kruger
5. transcranial direct currentstimulation
6. Guleyupoglu
7. Spontaneous
8. Dorsolateral prefrontal cortex
9. Karthikeyan
10. Pergher
11. Satorres
12. primary motor cortex
13. Long-term potentiation
14. Goodwill

تحریک‌پذیری قشری نخاعی را افزایش دهد (امینی ماسوله و همکاران، ۲۰۲۲). تئو و همکاران (۲۰۱۱) پژوهشی نشان دادند که ۲۰ دقیقه تحریک آنودال، با شدت جریان ۱ و ۲ میلی آمپر در انجام تکلیف استرنبرگ اثر معناداری بر انجام تکلیف نداشت. مطالعه دیگر نشان داد، ورزشکاران و غیرورزشکاران از مزایای دوره کوتاه کاربرد tDCS در کارهای حرکتی مرتبط با سرعت بهره‌مند نمی‌شوند (سیدل و راگرت، ۲۰۱۹). با توجه به مطالعات، VR و tDCS هرکدام دارای اثرات مفیدی در جوامع گوناگون بر عملکرد شناختی هستند، اما اخیراً پژوهش‌ها اثر ترکیبی VR و tDCS را بررسی کرده‌اند.

مطالعات جدید که اثر ترکیبی VR و tDCS را بررسی کرده‌اند، اثرگذاری این روش را در افراد سالم و آسیب دیده نشان داده‌اند. نتیجه مثبت این روش ترکیبی در بهبود وضعیت بدن (ویانا و همکاران، ۲۰۱۴)، گام‌برداشتن (گرکو و همکاران، ۲۰۱۵)، ریکاوری بعد از سکته مغزی (لازاری و همکاران، ۲۰۱۵) و ارتقای مهارت (کلارک و همکاران، ۲۰۱۲) در گروه‌های سنی و افراد مختلف نشان داده شده است. به نظر می‌رسد، این روش ترکیبی، روشی مکمل یا احتمالاً جایگزینی مناسب برای روش‌های برنامه‌های تمرینی سنتی است و ابزاری محرک و جذاب برای پیروی از پروتکل تمرینی ایجاد می‌کند. ترکیب VRو tDCS مداخله امیدوارکننده‌ای با اثرات مثبت است.

با توجه به اثرات مثبت VR در بهبود PA، عملکرد حرکتی و شناختی، کارآمدی tDCS در جوامع مختلف، ایمن‌بودن، غیرتهاجمی بودن، قیمت مناسب، حمل آسان و نداشتن عوارض مخرب، هدف این پژوهش، بررسی اثر مداخله بازی‌های VR با و بدون tDCS بر عملکرد شناختی دختران نوجوان کم‌تحرک بود. مطالعات نشان داده‌اند، دختران نوجوان کم‌تحرک‌تر از همتایان پسر هستند و این سبک زندگی می‌تواند بر دوره‌های زندگی بعدی به‌ویژه عملکردهای شناختی اثرگذار باشد؛ بنابراین محقق با افزودن tDCS به تمرینات VR به دنبال بررسی تأثیر تسهیل‌کنندگی ترکیب این دو روش مداخله‌ای بر عملکردهای شناختی دختران نوجوان کم‌تحرک است. از طرفی در نتیجه جست‌وجوهای ما پژوهشی که اثر مداخله ترکیبی VR و tDCS را بر عملکرد شناختی (RT، WM و CF) دختران نوجوان کم‌تحرک بررسی کند، یافت نشد. این روش با فراهم کردن تجربه فعالیت‌های مختلف امکان افزایش تحرک و بهبود عملکرد شناختی را دارد؛ بنابراین پژوهشگر درصدد است با این روش متفاوت، گامی در راستای کمک به بهبود بی‌تحرکی و افزایش میل به فعالیت و به دنبال آن بهبود عملکرد شناختی بردارد.

روش‌شناسی پژوهش

مطالعه حاضر به‌صورت یک‌سویه کور دارای یک گروه کنترل و دو گروه تجربی پس از کسب کد اخلاق با شناسه IR.RAZI.REC.1401.058 از کمیته اخلاق در پژوهش‌های زیست پزشکی دانشگاه رازی و کد کارآزمایی بالینی IRCT20221124056598N1 از مرکز بالینی ایران اجرا شد.

شرکت‌کنندگان

جامعه آماری پژوهش حاضر همه دختران نوجوان شهر سرپل ذهاب بودند. با توجه به معیارهای ورود به پژوهش، ۳۶ دختر نوجوان کم‌تحرک با روش نمونه‌گیری هدفمند انتخاب شدند و به‌طور تصادفی در سه گروه دوازده‌نفری قرار گرفتند. معیارهای ورود به پژوهش عبارت بودند از: ۱- تکمیل رضایت‌نامه توسط والدین دختران نوجوان، ۲- دختران کم‌تحرک براساس پرسش‌نامه PA، ۳-رعایت دامنه سنی ۱۵ تا ۱۸ سال، ۴- راست‌دست بودن افراد و ۵- دارابودن دید طبیعی یا اصلاح‌شده. معیارهای منع ورود به پژوهش عبارت بودند از: ۱- داشتن سابقه بیماری نورولوژیک، ۲- داشتن بیماری قلبی-عروقی، ۳- داشتن هرگونه ایمپلنت فلزی در مغز، ۴- سابقه اختلال در تعادل و سرگیجه وضعیتی مکرر و ترس از تحریک الکتریکی مغز، ۵- هرگونه نارضایتی از انجام تکالیف در حین آزمون‌گیری، ۶- هرگونه ضعف یا آسیب بدنی و ۷- توانایی‌نداشتن در به اتمام رساندن جلسات آزمون و تمرین.

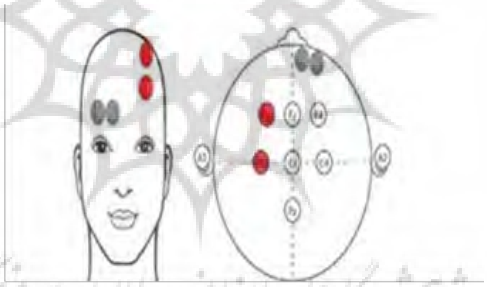
حجم نمونه با استفاده از نرم‌افزار جی‌پاور[1] نسخه ۳.۱ با اعمال توان آماری ۸۰ درصد، اندازه اثر ۳۵ درصد و سطح معناداری ۰/۰۵ و با درنظرگرفتن آزمون آماری مدنظر (مقادیر F در آزمون آماری آنوای مرکب ۳×۳[2]؛ عامل بین‌گروهی با سه سطح و عامل درون‌گروهی با سه سطح) تعیین شد. در این حالت، براساس خروجی نرم‌افزار، ۳۳ آزمودنی برای این پژوهش مناسب بود که با در نظر گرفتن میزان ریزش ۱۰ درصدی در چنین مطالعاتی، ۳۶ آزمودنی به سه گروه (هر گروه ۱۲ نفر) تقسیم‌بندی شدند (بومرت[3] و همکاران، ۲۰۲۰).

ابزارها و آزمون‌های پژوهش

1. G*Power
2. Mixed ANOVA
3. Baumert

-VR: در این پژوهش از تلویزیون ال‌جی ۴۷ اینچ، دستگاه ایکس‌باکس ۳۶۰ و کینکت ایکس‌باکس ۳۶۰ استفاده شد. کینکت ترکیبی از نرم‌افزار و سخت‌افزار ساخته‌شده توسط مایکروسافت است. این سخت‌افزار شامل سیستمی متشکل از یک پروژکتور و دوربین مادون قرمز و یک میکروچیپ ویژه است. کینکت دستگاه ارزیابی حرکت است که دیگر به لباس ویژه و اتصال حسگر نیاز ندارد و هم‌زمان با حرکت فرد موقعیت بدن را به دستگاه و بازی منتقل می‌کند و ارتباط بین دنیای حقیقی و مجازی ایجاد می‌شود (سانز-د-اورتوری[1] و گارسیازاپیرین سوتو[2] ۲۰۱۶). در این پژوهش از مجموعه بازی‌های اسپورت کینکت ۱ و ۲ استفاده شد.

-tDCS: در این مطالعه از دستگاه تحریک الکتریکی مغز دوکاناله مدل Neurostism2 ساخت شرکت مدیناطب در ایران برای تحریک مغزی استفاده شد. دستگاه دو کانال مجزا دارد و هر کانال به‌طور جداگانه تنظیم‌شدنی بوده و اعمال انواع تحریک ممکن است. دستگاه تنظیمات اعمال تحریک شم را نیز دارد. همچنین دارای هشداردهنده صوتی است که در زمان کنده‌شدن الکترودها از سر، افزایش مقاومت الکترودها، کم‌شدن شارژ باتری و تمام شدن جلسه به صدا درمی‌آید. برای تحریک از پد اسفنجی و محلول نمکی به‌منظور خیس‌کردن پدها استفاده می‌شود. شدت جریان از ۰/۱ تا ۲ میلی‌آمپر تنظیم‌شدنی است. این ابزار موردتأیید جامعه عصب‌روان‌شناسی و کاردرمانی است و در تحقیقات مختلفی برای تحریک مغزی استفاده شده است (رستمی و همکاران، ۲۰۱۸). الکترود آند (۲×۱/۵ سانتی‌متری) روی (M1) ناحیه حرکتی و DLPFC چپ، به مدت ۲۰ دقیقه قرار گرفت و به‌وسیله کش روی سر محکم شد و الکترود کاتد (۲×۶ سانتی‌متری) برای جلوگیری از جریان مستقیم جانبی در مرکز پیشانی قرار گرفت. اندازه بزرگ الکترود کاتد، آن را از لحاظ عملکردی بی‌اثر می‌کند، بدون اینکه تأثیری بر آند داشته باشد (استاگ و نیچه، ۲۰۱۱). به‌منظور استاندارد کردن سامانهٔ اتصال الکترودها و امکان مقایسه بین نتایج مختلف تحقیقی و درمانی اقدامی انجام شد و جاسپر[3] نظام بین‌المللی نصب الکترود ۱۰-۲۰ را ابداع کرد. در این روش، ابتدا براساس نقاطی مشخص از استخوان جمجمه مکان برخی نقاط مشخص شده و سپس براساس ۱۰ یا ۲۰ درصد فاصله از این نقاط موقعیت سایر الکترودها نیز تعیین می‌شود و امکان پوشاندن تمام نواحی سر با الکترودها را فراهم می‌کند (سادوک، ۲۰۱۵).



شکل ۱- نظام بین المللی ۱۰-۲۰ و مکان قرارگیری الکترودها

Figure 1- International system 10-20 and location of electrodes

-آزمون N-BACK: این نرم‌افزار برای ارزیابی عملکرد شناختی به کار می‌رود و از آنجاکه این آزمون هم حفظ و هم دستکاری اطلاعات شناختی را در بر می‌گیرد، برای ارزیابی WM مناسب است. این آزمون برای اولین بار در سال ۱۹۵۸ توسط کرچنر ارائه شد (کرچنر، ۱۹۵۸). روند کلی آزمون به این صورت است که دنباله‌ای از محرک‌ها به‌صورت گام به گام به آزمودنی ارائه می‌شود و آزمودنی باید بررسی کند که آیا محرک کنونی با محرک n گام قبل از آن همخوانی دارد یا خیر. با اضافه شدن مقدار n بر دشواری تکلیف افزوده می‌شود. در این آزمون یک مجموعه ۱۲۰ عددی از محرک‌ها وجود دارد و فرد باید به محرک جدید به این صورت که آیا این محرک با محرک‌های

1. Saenz-de-Urturi
2. Garcia-Zapirain Soto

3. Jasper

قبل از خود مثلاً اعداد مشابه است یا خیر، پاسخ دهد. با توجه به آزمودنی‌های این مطالعه از سطح دو این آزمون استفاده شد. این نرم‌افزار وجه حسی‌دیداری دارد و امتیاز حافظه و زمان پاسخ به‌صورت جداگانه محاسبه می‌شود (نجاتی، ۲۰۱۳). در این نرم‌افزار یک‌سری محرک‌های بینایی به‌صورت پی‌درپی روی صفحه رایانه نمایش داده می‌شود و آزمودنی باید در صورت تشابه هر محرک با محرک‌های قبل از خود کلید ؟ و در صورت مشابه‌نبودن، کلید z را فشار دهد. در مطالعات مختلفی در داخل و خارج از کشور روایی این آزمون اثبات شده است (کان و همکاران، ۲۰۰۷؛ نجاتی، ۲۰۱۳). این آزمون در مکان و زمانی کاملاً مساعد اجرا شد و شرایط اجرای آزمایش از نظر روان‌سنجی رعایت شد. هدف ما این بود که آزمودنی از حداکثر توانایی خود استفاده کند و در عین سرعت بهترین عملکرد را نیز داشته باشد. پس از ورود اطلاعات شخصی آزمودنی در قسمت مشخصات فردی، آزمون اجرا شد. قبل از اجرای آزمون اصلی، اجرای آزمایشی صورت گرفت و در این رابطه توضیحات کامل ارائه شد. با اعلام آمادگی آزمودنی، آزمون اصلی در حدود سه دقیقه انجام شد.

-آزمون زمان عکس‌العمل: برای سنجش RT از آزمون زمان‌سنج انتخابی و ساده طراحی‌شده توسط مؤسسه تحقیقات علوم رفتاری-شناختی سینا استفاده شد. این نرم‌افزار برای اندازه‌گیری RT انتخابی و ساده با استفاده از محرک دیداری در گروه‌های سنی مختلف به کار می‌رود. در این آزمون فرد ابتدا به‌صورت آزمایشی تکلیف را انجام داد و بعد از آشنایی کامل با نحوه اجرای تکلیف، آزمون اصلی اجرا شد. در RT ساده یک دایره قرمز روی صفحه ظاهر می‌شود و آزمودنی با حداکثر سرعت کلید پاسخ را فشار می هد و RT فرد ثبت می‌شود. در RT انتخابی دو مربع سفید روی صفحه ظاهر می‌شود: یک مربع سمت راست صفحه بوده که پاسخ آن کلید جهت‌نمای سمت راست است و یک مربع در سمت چپ صفحه بوده که پاسخ آن کلید جهت‌نمای سمت چپ است. میانگین RT برای فرد ثبت شد.

پرسش‌نامه انعطاف‌پذیری شناختی[1]: دنیس و وندروال در سال ۲۰۱۰ این پرسش‌نامه را طراحی کردند که یک ابزار بیست‌سؤالی کوتاه است و برای سنجش انعطاف‌پذیری شناختی استفاده می‌شود. نمره‌گذاری در این پرسش‌نامه براساس مقیاس هفت‌ارزشی لیکرت است و سه جنبه از CF را می‌سنجد. اولین مورد، تمایل به درک وضعیت‌های دشوار به‌عنوان وضعیت‌های قابل‌کنترل است (ادراک کنترل‌پذیری)؛ مورد دوم، قابلیت درک توجیهات جایگزین برای حوادث زندگی و رفتارهای انسان‌ها است که به ادراک توجیه رفتار معروف است؛ سومین مورد، توانایی به‌وجودآوردن راه‌حل‌های جایگزین برای وضعیت دشوار است که به ادراک گزینه‌های مختلف شناخته شده است. دنیس و همکارش در سال ۲۰۱۰ روایی همگرا و هم‌زمان این پرسش‌نامه را نشان دادند. در ایران نیز شاره و همکاران روایی همگرا و هم‌زمان این پرسش‌نامه را اثبات کردند (دنیس و واندروال، ۲۰۱۰؛ سطانی و همکاران، ۲۰۱۳).

-پرسش‌نامه اندازه‌گیری فعالیت بدنی[2]: برای شناسایی دختران کم‌تحرک از پرسش‌نامه فعالیت بدنی استفاده شد. این پرسش‌نامه نسخه کوتاه‌شدهٔ پرسش‌نامه بین‌المللی PA بوده و از روایی و پایایی قابل‌قبولی برخوردار است (بشیری موسوی و همکاران، ۲۰۱۵). دخترانی که در این پرسش‌نامه نمره کمتر از ۶۰۰ گرفتند، به‌عنوان دختران کم‌تحرک شناسایی شدند و در این پژوهش شرکت کردند.

-کرنومتر: برای ثبت زمان طی‌شده در انجام تکلیف تعادل ایستا، کرنومتر استفاده شد.

-ترازو برای سنجش وزن آزمودنی‌ها و قدسنج برای سنجش قد آزمودنی‌ها به کار رفت.

گروه VR با تحریک آندی مغز (VR+a-tDCS) روزهای زوج و گروه VR با تحریک شم(VR+sh-tDCS) مغز روزهای فرد در این مداخله شرکت کردند. در طول دوره تمرینی، نوجوانان در فعالیت‌هایی که بر نتیجه اثرگذار بود، شرکت نکردند و در این زمینه توضیحات لازم به آن‌ها داده شد. همچنین ویژگی‌های آنتروپومتریک نظیر قد و وزن قبل و بعد از مداخله بررسی شد. پیش‌آزمون در این پژوهش شامل سنجش WM، RT و CF بود. در این پژوهش از دو دستگاه ایکس‌باکس ۳۶۰ و کینکت (ساخته‌شده توسط شرکت آمریکایی مایکروسافت) و دو دستگاه تحریک مغز استفاده شد. در گروه کنترل هیچ مداخله‌ای انجام نشد. در گروه VR با تحریک آندی مغز، نوجوانان تمرینات مشخص‌شده توسط دستگاه ایکس‌باکس و کینکت (شامل بازی‌های تنیس روی میز، گلف، بوکس و اسکی) را انجام دادند، اما قبل از اجرای تمرینات تحریک آندی مغز را دریافت کردند. گروه VR با تحریک شم همان تمرینات مشخص را انجام دادند، اما تنظیمات دستگاه tDCS به‌گونه‌ای بود که بعد از ۳۰ ثانیه تحریک قطع شد و هیچ تحریکی اعمال نشد. در ادامه، روند تمرین تا

1. Cognitive Flexibility Inventory

2. International Physical Activity Questionnaire (IPAQ)

انتهای چهار هفته (۱۲ جلسه) ادامه یافت. بعد از اتمام تمرینات، بلافاصله پس‌آزمون گرفته شد و برای سنجش میزان یادگیری بعد از دو هفته مجدداً آزمون تکرار شد (آقاجانی و همکاران، ۲۰۱۹؛ سانچز-مارتینز[1] و همکاران، ۲۰۲۳).

روش پردازش داده‌ها

در بخش آمار استنباطی، نخست به‌منظور بررسی چگونگی توزیع داده‌ها از آزمون شاپیرو-ویلک استفاده شد. از آزمون تحلیل واریانس مرکب برای بررسی عامل درون‌گروهی (زمان) و بین‌گروهی (شرایط یا نوع مداخله) استفاده شد (طرح ۳×۳، عامل درون‌گروهی با سه سطح و عامل بین‌گروهی با سه سطح). با توجه به معناداربودن اثر تعامل، از آزمون آنوای یک‌راهه با اندازه‌گیری‌های تکراری به‌منظور بررسی عامل درون‌گروهی و از آزمون آنوای یک‌راهه برای بررسی عامل بین‌گروهی استفاده شد. آزمون‌های تعقیبی مناسب نظیر بونفرونی و شفه نیز به کار رفت.

یافته‌ها

ابتدا میانگین و انحراف استاندارد مربوط به ویژگی آزمودنی‌ها به تفکیک هر گروه در جدول شماره یک ارائه شده است. در ادامه میانگین و انحراف استاندارد مربوط به RT ساده، RT انتخابی، WMو CF آزمودنی‌ها به تفکیک گروه و مقاطع زمانی اندازه‌گیری در جدول شماره دو ارائه شده است.

همچنین با توجه به تأیید پیش‌فرض طبیعی‌بودن توزیع داده‌ها در متغیرهای RT ساده، RT انتخابی، WM و CF برمبنای نتایج آزمون آماری شاپیرو-ویلک (P>۰/۰۵)، به‌منظور تجزیه‌وتحلیل یافته‌های این متغیر از آزمون آماری آنوای مرکب (۳ × ۳؛ عامل زمان با سه سطح و عامل گروه با سه سطح) استفاده سد. پیش‌فرض همگنی واریانس داده‌ها با به‌کارگیری آزمون آماری لون بررسی و تأیید شد (P>۰/۰۵). براساس نتایج، اثر تعامل بین زمان و گروه در متغیرهای RT ساده، RT انتخابی، WM و CF از نظر آماری معنادار بود.

نتایج نشان داد، اثر تعامل بین زمان و گروه در متغیرهای RT ساده (F=۶/۱۶۶ ،P=۰/۰۰۲)، RT انتخابی (F=۱۳/۴۸۸ ،P=۰/۰۰۱)، (WM F=۱۶/۱۹۹ ،P=۰/۰۰۱) و CF (F= ۳/۳۹۴ ،P=۰/۰۲۱) از لحاظ آماری معنادار بود.

همچنین اثر گروه در متغیرهای RT ساده (F=۵/۰۹۰ ،P=۰/۰۱۲)، RT انتخابی (F= ۷/۲۴۱ ،P=۰/۰۰۲) معنادار بود و در WM (F=۳/۰۹۳ ،P=۰/۰۵۹) و CF (F=۰/۷۱۸ ،P=۰/۴۹۵) معنادار نبود.

اما اثر زمان در متغیرهای RT ساده (F=۵۲/۶۱۳ ،P=۰/۰۰۱)، RT انتخابی (F= ۸۳/۴۲۳ ،P=۰/۰۰۱)، WM (F=۷۳/۸۱۴ ،P=۰/۰۰۱) و CF (F= ۹/۰ ،P=۰/۰۰۱) از لحاظ آماری معنادار بود.

با توجه به معنادار بودن اثر تعامل، تأثیر ساده گروه و زمان به‌ترتیب با استفاده از آنالیز واریانس یک‌راهه و آنالیز واریانس یک‌راهه مکرر بررسی شد. نتایج نشان داد، در مرحله پیش‌آزمون تفاوت معناداری بین میانگین متغیرهای RT ساده، RT انتخابی، WM و CF بین سه گروه مداخله وجود نداشت (P>۰/۰۵)؛ درحالی‌که در مراحل پس-آزمون و پیگردی تفاوت معناداری در میانگین این متغیرها بین گروه-های مداخله وجود داشت. با توجه به وجود تفاوت معنادار بین گروه-های مداخله، از آزمون تعقیبی شفه برای مقایسه‌های زوجی استفاده شد (جدول شماره سه).

جدول ۱- میانگین سن، قد و وزن (BMI) در سه گروه (میانگین ± انحراف استاندارد)

Table 1- Average age, height, and weight (BMI) in three groups (Mean ± Standard Deviation)

Groups گروه‌ها	Age سن	Height (cm) قد	Weight (kg) وزن	BMI توده بدن
آنودال (Anodal)	16.08 ± 1.00	159.00± 7.45	52.93±8.21	20.94
شم (Sham)	15.75± 0.97	159.67 ± 5.88	55.79±10.55	21.88
کنترل (Control)	16.17 ± 1.11	159.33± 5.50	55.80±5.95	21.98

1. Sanchez-Martinez

جدول ۲- مقادیر RT ساده، RT انتخابی، WM و CF در سه گروه در نقاط زمانی مختلف (میانگین ± انحراف استاندارد)

Table2- Mean values of simple RT, Selective RT, WM and CF in three groups at specified time points (Mean ± SD)

Groups	گروه‌ها	Simple RT (Time) زمان ساده (زمان)	Selective RT (Time) زمان انتخابی (زمان)	WM (Percentage of correct answers) حافظه کاری (درصد پاسخ صحیح)	CF انعطاف‌پذیری شناختی
آنودال (Anodal)	Baseline (پیش‌آزمون)	407.27 ± 70.30	574.46 ± 76.38	42.17 ± 16.93	94.75 ± 14.11
	Post-test (پس‌آزمون)	309.00 ± 20.88	389.17± 54.85	76.75 ± 12.06	104.33 ±11.28
	Retention (پیگردی)	327.75±31.22	384.83 ± 47.90	76.92 ± 17.00	102.08±12.18
شم (Sham)	Baseline (پیش‌آزمون)	468.08 ± 41.78	603.06 ± 51.108	33.08 ± 15.63	96.75 ± 12.77
	Post-test (پس‌آزمون)	363.67 ± 72.07	482.50±58.48	64.33 ± 17.32	98.92 ± 11.64
	Retention (پیگردی)	380.08 ± 65.59	470.00 ± 68.36	58.67 ± 21.21	97.00 ± 12.51
کنترل (Control)	Baseline (پیش‌آزمون)	425.33 ± 59.83	553.38 ± 64.96	50.08 ± 18.27	93.58 ± 9.26
	Post-test (پس‌آزمون)	404.92 ± 53.39	529.08 ± 54.69	50.51 ± 16.69	95.17 ± 11.92
	Retention (پیگردی)	397.58±52.50	519.25 ± 57.43	52.67±16.58	92.95 ± 10.33

جدول ۳- نتایج آنالیز واریانس یک راهه RT ساده، RT انتخابی، حافظه کاری و انعطاف‌پذیری شناختی

Table3- Results of One-way ANOVA of Simple RT, Selective RT, WM and CF

Dependent Variable		Group(I)	Group(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	p-value
simple RT	post- test	VR+a-tDCS	VR+sh-tDCS	-54.666	21.706	.055
			Control	-95.916	21.706	<0.001
		VR+sh-tDCS	Control	-41.250	21.706	.180
	Retention	VR+a-tDCS	VR+sh-tDCS	-52.333	21.126	.060
			Control	-69.833	21.126	.009
		VR+sh-tDCS	Control	-17.500	21.126	.712
Selective RT	post- test	VR+a-tDCS	VR+sh-tDCS	-93.333	22.876	.001
			Control	-139.916	22.876	<0.001
		VR+sh-tDCS	Control	-46.583	22.876	.142

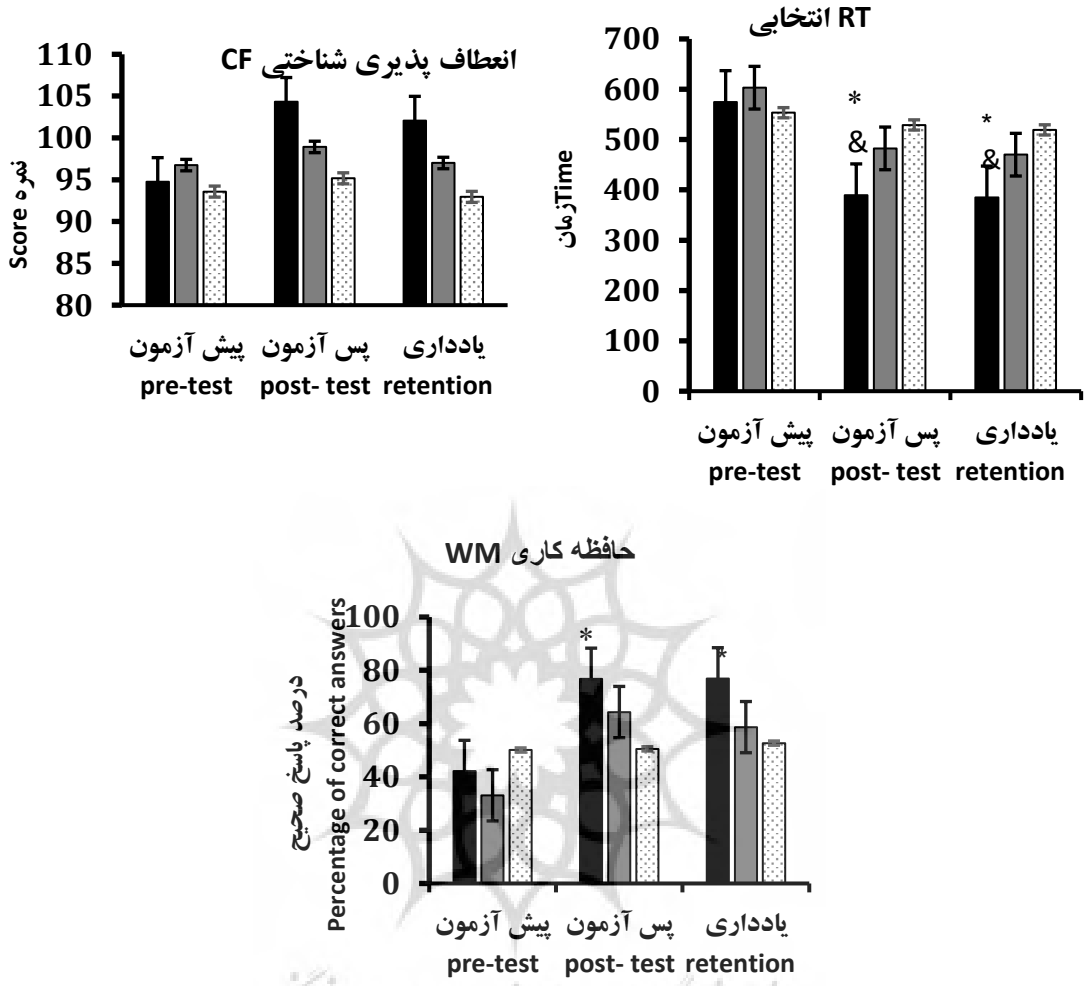
جدول ۳- نتایج آنالیز واریانس یک راهه RT ساده، RT انتخابی، حافظه کاری و انعطاف‌پذیری شناختی
Table3- Results of One-way ANOVA of Simple RT, Selective RT, WM and CF

Dependent Variable		Group(I)	Group(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	p-value
Working memory	Retention	VR+a-tDCS	VR+sh-tDCS	-85.166	23.881	.005
			Control	-134.416	23.881	<0.001
		VR+sh-tDCS	Control	-49.250	23.881	.135
	post- test	VR+a-tDCS	VR+sh-tDCS	12.416	6.342	.163
			Control	25.250	6.342	.002
		VR+sh-tDCS	Control	12.833	6.342	.145
	Retention	VR+a-tDCS	VR+sh-tDCS	18.250	7.504	.066
			Control	24.250	7.504	.011
		VR+sh-tDCS	Control	6.000	7.504	.729
Cognitive flexibility	post- test	VR+a-tDCS	VR+sh-tDCS	5.416	4.741	.527
			Control	9.166	4.741	.170
		VR+sh-tDCS	Control	3.750	4.741	.734
	Retention	VR+a-tDCS	VR+sh-tDCS	5.083	4.782	.574
			Control	6.166	4.782	.444
		VR+sh-tDCS	Control	1.083	4.782	.975

از سوی دیگر، نتایج آزمون آماری آنوای یک‌راهه با اندازه‌گیری‌های تکراری به‌منظور بررسی اثر ساده زمان در هریک از گروه‌های مداخله (مقایسه میانگین مقاطع زمانی مختلف به تفکیک هر گروه) به کار گرفته شد. با توجه به وجود تفاوت معنادار، از آزمون تعقیبی بونفرونی برای مقایسه‌های زوجی استفاده شد.

در گروه تحریک آنودال، میانگین مقادیر RT ساده در مقاطع پس‌آزمون ($P<0.001$) و آزمون پیگردی ($P=0.003$) به‌طور معناداری کمتر از مرحله پیش‌آزمون بود. در گروه تحریک شم نیز میانگین مقادیر RT ساده در مراحل پس‌آزمون ($P=0.001$) و آزمون پیگردی ($P=0.012$) به‌طور معناداری کمتر از مرحله پیش‌آزمون بود. در متغیر RT انتخابی در گروه تحریک آنودال، میانگین مقادیر RT انتخابی در پس‌آزمون ($P<0.001$) و آزمون پیگردی ($P<0.001$) به‌طور معناداری کمتر از مرحله پیش‌آزمون بود. در گروه تحریک شم نیز میانگین مقادیر RT انتخابی در مراحل پس‌آزمون ($P=0.006$) و آزمون پیگردی ($P=0.007$) به‌طور معناداری کمتر از مرحله پیش‌آزمون بود.

در متغیر WM در گروه تحریک آنودال، میانگین درصد پاسخ صحیح در مقاطع پس‌آزمون ($P<0.001$) و آزمون پیگردی ($P<0.001$) به شکل معناداری بیشتر از مرحله پیش‌آزمون بود. در گروه تحریک شم نیز میانگین درصد پاسخ صحیح در پس‌آزمون ($P<0.001$) و آزمون پیگردی ($P=0.001$) به‌طور معناداری بیشتر از مرحله پیش‌آزمون بود. در متغیر انعطاف‌پذیری شناختی در گروه‌های تحریک شم و کنترل در مقاطع زمانی مختلف تفاوت معناداری وجود نداشت، اما گروه تحریک آنودال، در مقاطع پس‌آزمون ($P<0.019$) و آزمون پیگردی ($P=0.032$) به‌طور معناداری بیشتر از مرحله پیش‌آزمون بود.



شکل ۲ – تغییرات RT ساده، RT انتخابی، حافظه کاری و انعطاف‌پذیری شناختی در سه گروه مداخله به تفکیک مقاطع زمانی مختلف (* = تفاوت معنادار با گروه کنترل، & = تفاوت معنادار با گروه شم)

Figure 2- Simple RT, Selective RT, WM and CF changes in 3 intervention groups by different time periods (* = significant difference with the control group, & = significant difference with the sham group)

بحث و نتیجه‌گیری

هدف پژوهش حاضر، تعیین اثر بازی‌های VR با و بدون tDCS در دو ناحیه M1 و DLPFC بر عملکرد شناختی دختران نوجوان کم‌تحرک بود. یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که در گروه آنودال در مقایسه با گروه‌های کنترل و شم تکالیف شناختی بهتر اجرا شد. گروه VR همراه با تحریک آنودال در دو ناحیه هدف، عملکرد بهتری در مقایسه با گروه VR همراه با تحریک شم در مراحل مختلف

داشت. این نتایج نشان می‌دهد که تحریک tDCS به‌صورت آنودال می‌تواند اثرگذاری تمرینات VR را بیشتر و ماندگارتر کند. برتری گروه آنودال در مرحله پیگردی حفظ شد و عملکرد گروه تحریک آنودال در مقایسه با دو گروه دیگر برتری داشت.

در مرحله اول، نتایج پژوهش نشان داد، عملکرد شناختی در گروه VR+sh-tDCS از لحاظ میانگین بر گروه Control برتری داشت، اما این برتری از لحاظ آماری معنادار نبود. نتایج پژوهش حاضر با مطالعات لاین[1] و همکاران (۲۰۲۱)، بنزینگ[2] و همکاران (۲۰۱۶) و سلوسار[3] و همکاران (۲۰۲۱) همخوان نبود. این نتایج احتمالاً به دلیل درگیری پایین شناختی در بازی‌های به‌کاررفته باشد. بازی‌های انتخابی در این پژوهش شامل بازی اسکی، تنیس روی میز، گلف و بوکس بود. احتمالاً درگیری شناختی در این بازی‌ها به اندازه مناسب نبوده است. بنزینگ و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند که VR همراه با درگیری شناختی بالا می‌تواند عملکرد شناختی را در نوجوانان سالم بهبود دهد. آن‌ها از بازی Shape Up استفاده کردند که علاوه‌بر PA درگیری شناختی بالایی داشت. همچنین یک گروه دونده دیگر داشتند که علاوه‌بر PA درگیری پایین شناختی نیز داشت. نتایج آن‌ها نشان داد، گروهی که درگیری شناختی بالایی داشت، عملکرد شناختی نیز بهبود بیشتری پیدا کرد، اما بین گروه دوم (درگیری شناختی پایین) و گروه کنترل تفاوت معناداری دیده نشد. درواقع به‌کارگیری VR برای بهبود ظرفیت شناختی باید با درجاتی از دشواری که کارکردهای شناختی را درگیر می‌کند، همراه باشد. در این مطالعه سعی داشتیم هر جلسه سطح بازی‌ها را دشوارتر کنیم و متناسب با پیشرفت آزمودنی مراحل و مسیرهای متنوع و چالش‌برانگیزتر را انتخاب کنیم، اما احتمالاً میزان دشواری این تکالیف به اندازه کافی نبوده و فرد حفظ و دستکاری سریع اطلاعات در WM را به‌خوبی انجام نداده است. بازی‌های VR که سرعت زیادی دارند، سطح توانایی شخص را برای به‌کارگیری اطلاعات مرتبط و نادیده‌گرفتن اطلاعات غیرمرتبط بالا می‌برد و باعث می‌شود شخص در زمان کمتر و کارآمدتر از محیط پیرامون خود بیاموزد. به دنبال آن، ابعاد چندگانه شناختی بهبود می‌یابد و این بهبود از طریق سازگاری‌های ساختاری و فیزیولوژیک مانند افزایش سنتز عوامل عصب‌زایی، سایز نورون‌های عصبی، افزایش انعطاف‌پذیری عروق مغزی، شکل‌پذیری سیناپسی و فعالیت هیپوکامپ و ترشح انتقال‌دهنده سروتونین و دوپامین ایجاد می‌شود (جلیلی و همکاران، ۲۰۱۹).

همچنین مطالعات ذکرشده برای سنجش عملکرد شناختی از ابزاری متفاوت با مطالعه حاضر یعنی سیستم عملکرد اجرایی Delis-Kaplan استفاده کردند. در مطالعه لاین و همکاران از Go/No-Go test برای سنجش عملکرد شناختی استفاده شد. همچنین در مطالعه سلوسار و همکارنش از Simon task استفاده شد؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود که در مطالعات بعدی از بازی‌هایی با سطوح شناختی مختلف استفاده شده و ابزار سنجش یکسان استفاده شود.

علاوه بر این در مطالعه حاضر از دختران نوجوان کم‌تحرک استفاده شد، اما در مطالعه قبلی جامعه آماری شده متفاوت بود. همچنین در مطالعه حاضر، بازی‌های VR حدود ۶۰ دقیقه اجرا شد. مدت و شدت در مطالعات قبلی که درگیری شناختی را بررسی کردند، بسیار متفاوت بود. اثرات مضر تنها در مطالعه با طولانی‌ترین مدت (۵۰ دقیقه) با شدت متوسط تا شدید یافت شد (گالوتا[4] و همکاران، ۲۰۱۵). مدت‌زمان ممکن است برای ایجاد مزایای فوری به‌منظور شناخت بسیار طولانی باشد. چانگ و همکاران اخیراً PA به‌مدت ۱۰، ۲۰ و ۴۵ دقیقه را مقایسه کرده و توصیه کردند که PA، ۲۰ دقیقه بیشترین فواید را بر شناخت دارد (چانگ[5] و همکاران، ۲۰۱۵). همچنین سایر توصیه‌ها بین ۱۰ تا ۲۰ دقیقه با شدت متوسط تا شدید است (لاین و همکاران، ۲۰۲۱). احتمالاً ۱۵ دقیقه ممکن است چارچوب زمانی معقولی برای نوجوانان باشد (بنزینگ و همکاران، ۲۰۱۶)، اما مطالعاتی که اثرات مزمن VR را تجزیه و تحلیل کردند (۲۰ تا ۵۰ دقیقه در روز، یک تا سه روز در هفته، به‌مدت ۴ تا ۱۰ هفته با ۷۵ درصد تا ۹۰ درصد حداکثر HR، یا حتی طولانی‌کردن مداخله برای ۹ ماه یا دو سال) در سایر متغیرهای تحصیلی مانند محاسبات ریاضی و عوامل شخصی (به‌عنوان‌مثال، خودپنداره برتر، رفتار کلاسی بهتر، روابط بین فردی و همچنین خودکارآمدی بیشتر، هماهنگی و مهارت‌های حرکتی) بهبودهایی را نشان داد (سرانو[6] و همکاران، ۲۰۲۱).

در کنار عوامل گفته‌شده استرس می‌تواند عامل اثرگذار بر عملکرد شناختی باشد (بادی[7] و همکاران، ۲۰۱۰)؛ بنابراین علاوه‌بر درگیری

1. Layne
2. Benzing
3. Šlosar
4. Gallotta
5. Chang
6. Serrano
7. Budde

شناختی، مطالعات آینده می‌تواند القای استرس را با استفاده از یک شاخص عینی مانند کورتیزول اندازه‌گیری کند. همچنین در مطالعه حاضر، دختران نوجوان کم‌تحرک شرکت داشتند، اما نتایج دیگر نشان می‌دهد که تنها شرکت‌کنندگانی که آمادگی جسمانی بیشتر و/یا پیشرفت تحصیلی بهتری داشتند، از نظر عملکرد شناختی از PA سود بیشتری می‌برند (جاگر[1] و همکاران، ۲۰۱۵). درواقع دستیابی به اثرات مثبت از طریق PA در محیط‌های دنیای واقعی دشوارتر از محیط‌های آزمایشگاهی است و نیازهای فیزیولوژیک و شناختی باید با ظرفیت فردی تنظیم شوند تا مداخله‌ای مؤثر باشد.

استیانو[2] و همکاران (۲۰۱۱) اثرات کوتاه‌مدت بازی Nintendo Wii در شرایط رقابتی، مشارکتی یا بدون بازی را بر مهارت‌های شناختی دانش‌آموزان دارای اضافه وزن و چاق بررسی کردند. نتایج نشان داد، گروه رقابتی در نمرات کل D-KEFS به‌طور درخورتوجهی بیشتر از گروه مشارکتی (P=۰/۰۲۰) و گروه کنترل (P=۰/۰۱۸) بهبود یافت، اما در مطالعه حاضر با توجه به اینکه مداخله در زمان فراگیری ویروس کرونا انجام شد، تمرینات به‌صورت انفرادی اجرا شد. احتمالاً رقابتی‌کردن تمرینات می‌تواند اثرگذاری را بیشتر کند. همچنین مطالعات دیگر نشان دادند که بازی کینکت باعث ایجاد فعالیت‌هایی با شدت متوسط می‌شود که عموماً پسران و دختران از آن لذت می‌برند، اما بازی‌های دو نفره هم‌زمان ممکن است برای افزایش سطح PA در نوجوانان غیرفعال مناسب باشد (ورهون[3] و همکاران، ۲۰۱۵).

از سوی دیگر پژوهش حاضر نشان داد، میانگین عملکرد شناختی گروه VR+a-tDCS در مقایسه با میانگین گروه VR+sh-tDCS در مراحل پس‌آزمون و پیگردی برتری داشت. همچنین عملکرد شناختی در گروه VR+a-tDCS برتری معناداری در مقایسه با گروه کنترل در اجرای تکلیف شناختی داشت. به‌طورکلی نتایج پژوهش حاضر نشان داد، گروه تحرک آنودال در مقایسه با دو گروه دیگر در اجرای تکلیف شناختی بهتر عمل کرد. این نتایج با مطالعات آقاجانی و همکاران (۲۰۱۹)، امینی ماسوله و همکاران (۲۰۲۱)، ارکان و یاریاری (۲۰۱۴)، پرگر[4] و همکاران (۲۰۲۲)، ساتورس و همکاران (۲۰۲۲)، شباهنگ و همکاران (۲۰۱۹)، سویاتا و همکاران (۲۰۱۹)، تالسما و همکاران (۲۰۱۷) و واثقی و همکاران (۲۰۱۵) هم‌راستا بود.

مطالعات نشان می‌دهند، tDCS می‌تواند طیف وسیعی از فعالیت‌های شناختی را تحت‌تأثیر قرار دهد و این اثرات وابسته به ویژگی‌های تحریک است. درواقع تحریک آنودال قشر مغز توانایی بهبود عملکرد در تکالیف شناختی از سطوح پایین مانند توجه تا سطوح بالا مانند WM و توانایی برنامه‌ریزی را دارد (آقاجانی و همکاران، ۲۰۱۹).

در مطالعه حاضر، هر دو ناحیه M1 و DLPFC به‌صورت هم‌زمان به مدت ۲۰ دقیقه با شدت جریان ۲ میلی‌آمپر تحریک شد. جریان تحریک از الکترود آنود به سمت الکترود کاتد بود. در این حالت در مناطقی که تحریک آنودال دریافت می‌کنند، تحریک پذیری قشر مغز و آتش نورونی خودبه‌خودی تحت‌تأثیر قرار می‌گیرند و تحریک‌پذیری قشر مغز افزایش می‌یابد (وینگ و همکاران، ۲۰۱۳). با توجه به مطالعات، این روش به ابزاری جذاب با اثرات جانبی کم و مؤثر تبدیل شده است. این جریان ضعیف پتانسیل غشاء را به سمت دپولاریزاسیون تنظیم می‌کند. با توجه به مناطق تحریک‌شده در پژوهش حاضر و به دنبال آن بهبود عملکرد شناختی، می‌توان در تبیین این یافته‌ها ابتدا به افزایش تحریک‌پذیری سلول‌های عصبی این مناطق اشاره کرد. در این حالت پتانسیل سلول‌های عصبی از حالت استراحت به سمت آستانه تحریک تغییر می‌کند و به این ترتیب سلول عصبی با حداقل تحریک وارد فاز دپولاریزاسیون می‌شود (بشیر و همکاران، ۲۰۲۲). درواقع در این پژوهش با اعمال تحریک آنودال مغزی قبل از اجرای تمرینات VR، سلول عصبی شبکه‌های قشری که در انواع وظایف شناختی درگیر هستند، آماده‌تر از حالت بدون تحریک هستند.

فرض دیگر این است که افزایش تحریک‌پذیری در نواحی تحریک‌شده، بالارفتن رهاسازی دوپامین و کاهش انتقال‌دهنده عصبی گابا را به دنبال دارد که این حالت می‌تواند بر بهبود عملکرد شناختی اثرگذار باشد (آقاجانی و همکاران، ۲۰۱۹). به‌علاوه جریان ثابت tDCS باعث تغییرات محلی غلظت یونی می‌شود و تغییرات در گذر پروتئین‌های عبوری غشاء و غلظت یون هیدروژن (H+) را به دنبال دارد (ارکان و یاریاری، ۲۰۱۴).

همچنین بهبود در عملکرد شناختی می‌تواند به مکانیسم تقویت طولانی‌مدت[5] (LTP) مرتبط شود؛ چراکه این مکانیسم عاملی مهم در حافظه و یادگیری است و می‌تواند انتقال‌دهنده‌های عصبی را به‌صورت طولانی‌مدت افزایش دهد که برآمده از تلاش سلول‌های

1. Jäger
2. Staiano
3. Verhoeven
4. Pergher
5. Long-Term Potentiation

پیش‌سیناپسی و پس‌سیناپسی به‌صورت هم‌زمان است. این مکانیسم، افزایش در جابه‌جایی انتقال‌دهنده‌ها بین دو سلول عصبی است که به علت تحریک آن‌ها به‌صورت هم‌زمان ایجاد می‌شود (مسلمی و همکاران، ۲۰۱۹).

تحریک هم‌زمان دو ناحیه درگیر در یک نیمکره مغز می‌تواند اثربخشی تمرینات را بیشتر کند. این یافته نشان می‌دهد که تحریک دو ناحیه کارکردی به‌صورت هم‌زمان، موجب افزایش القای پتانسیل‌های فراخوانده حرکتی[1] (MEPs) می‌شود. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که بین دو ناحیه M1 و DLPFC تعاملات کارکردی و عصبی وجود دارد. قشر پیش‌حرکتی به دو بخش قدامی و خلفی قسمت می‌شود. بخش خلفی، برونداد‌ش را به M1 و طناب نخاعی ارسال می‌کند و درون‌دادهایی از DLPFC را به دست می‌آورد. به دلیل وجود چنین تعاملاتی بین این دو ناحیه، تحریک آنودال می‌تواند باعث فعال‌سازی مسیرهای عصبیِ DLPFC - کورتکس پیش حرکتی – M1 شود؛ درنتیجه تحریک‌پذیری این مناطق را افزایش می‌دهد (امینی ماسوله و همکاران، ۲۰۱۹، واثقی و همکاران، ۲۰۱۵).

اما مطالعه حاضر با نتایج مطالعات وست‌وود[2] و همکاران (۲۰۱۸) و تئو و همکاران (۲۰۱۱) همخوان نبود. وست‌وود و همکاران به بررسی اثر tDCS اعمال‌شده به LIFG[3] بر حافظه کاری ۳۳ فرد جوان پرداختند. افراد مور مطالعه در قالب دو گروه آزمایشی (۲۰) نفر و کنترل (۲۴ نفر)، دو نوع تحریک الکتریکی جریان مستقیم (تحریک آندی و شم) را طی دو جلسه ۲۵ دقیقه‌ای دریافت کردند. پژوهشگران برای بررسی عملکرد حافظه کاری افراد شرکت‌کننده قبل از مداخله و بعد از آن، از آزمون Digit SPA n استفاده کردند. یافته به‌دست‌آمده هیچ اختلاف معناداری را بین نتایج آزمون پس از دریافت تحریک الکتریکی در مقایسه با قبل از آن نشان نداد. همچنین بین نتایج دو گروه آزمایشی و کنترل اختلاف معناداری مشاهده نشد. این یافته‌ها نشانگر اثرنداشتن تحریک tDCS اعمال‌شده به ناحیه LIFG بر حافظه کاری افراد جوان سالم است. از علل این تناقض می‌توان به ناحیه تحریک متفاوت اشاره کرد. در این مطالعه ناحیه LIFG تحریک شد که متفاوت با مطالعه حاضر بود. همچنین تعداد جلسات در مطالعه حاضر ۱۲ جلسه بود، اما در مطالعه مذکور، دو جلسه تحریک اعمال شد. همچنین ابزار سنجش WM متفاوت با مطالعه حاضر بود.

در مطاله تئو و همکاران دقت اجرای تکلیف تغییر نکرد. از علل این تناقض می‌توان به شدت تحریک کم اشاره کرد. آن‌ها از شدت جریان ۱ میلی‌آمپر استفاده کردند، اما در مطالعه حاضر از شدت جریان ۲ میلی‌آمپر استفاده شد. همچنین آن‌ها از دو آزمون ان-بک و استرنبرگ بهره گرفتند. احتمالاً فرایندهای شناختی درگیر در اِن-بک از برخی جهات متفاوت با آزمون استرنبرگ باشد. اجرای آزمون ان-بک به حفظ و مقایسه اطلاعات و محرک ارائه‌شده نیاز دارد، اما در آزمون استرنبرگ، افراد در شروع بررسی برای قیاس مجموعه‌ها، حفظ را نادیده می‌گیرند؛ ازاین‌رو احتمالاً tDCS زمانی باعث تغییر بیشتر در عملکرد شناختی می‌شود که آزمون به فرایندهای شناختی هماهنگ متوالی نیاز داشته باشد.

در پژوهش حاضر محدودیت‌های کنترلی‌نشدنی وجود داشت که به برخی از آن‌ها اشاره می‌کنیم: ۱- آگاهی‌نداشتن از وضعیت روانی و میزان تمایل شرکت‌کنندگان برای پیروی از پروتکل تمرینی، ۲- آگاهی‌نداشتن از وضعیت یکسان افراد در جلسات مختلف مداخله و آزمون (مانند تغذیه و میزان استراحت و آمادگی برای اجرای آزمون). ممکن است بهبود در متغیرهای وابسته به دلیل تغییر در روحیه، خودکارآمدی یا انگیزه باشد که در این پژوهش اندازه‌گیری نشد، ۳- نبود امکان استفاده از تعداد نمونه زیاد، ۴- همه شرکت‌کنندگان در این پژوهش از یک منطقه انتخاب شدند و تعمیم نتایج به همه دختران نوجوان کم‌تحرک باید با احتیاط انجام شود، ۵- تحریک برای M1 و DLPFC در نظر گرفته شد، اما با توجه به ماهیت tDCS، محل تحریک فراتر از قشر حرکتی اولیه وکورتکس پری‌فرونتال خلفی‌جانبی بود؛ بنابراین برآورد اینکه آیا بهبود به‌دست‌آمده تنها به دلیل تغییر در این نقاط است یا اینکه تغییر نواحی دیگر قشر مغز در بهبود نقش داشته است، مشکل است، ۶- از دیگر محدودیت‌های پژوهش حاضر می‌توان به تک‌جنسی‌بودن پژوهش، نبود امکان کنترل تمامی متغیرهای اثرگذار در پژوهش مانند خستگی و بی‌حوصلگی شرکت‌کنندگان در پاسخ‌گویی به آزمون‌های شناختی اشاره کرد.

پیام مقاله

به نظر می‌رسد، به‌کارگیری پروتکل tDCS آنودی به‌صورت هم‌زمان روی M1 و DLPFC می‌تواند اثربخشی تمرینات VR را افزایش

1. Motor-Evoked Potentials
2. Westwood
3. Left Inferior Frontal Gyrus

دهد و عملکرد در تکالیف شناختی را بهبود بخشد. با توجه به سودمندی این روش ترکیبی می‌توانیم از این روش جذاب و مهیج برای بهبود عملکرد شناختی استفاده کنیم. کاربرد VR و tDCS در زمینه ورزش، موجب افزایش سرعت تصمیم‌گیری، زمان واکنش و توسعه مهارت‌های ذهنی و تمرین و مسابقه در دختران نوجوان کم‌تحرک می‌شود و اینکه این روش جدید شرایط اجرای تکلیف بدون اجرای واقعی را فراهم می‌کند؛ بنابراین استفاده از این روش در ورزش به توسعه توانایی شناختی دختران نوجوان کم‌تحرک و درنهایت افزایش عملکرد تمرین و مسابقه و افزایش اعتمادبه‌نفس آنان کمک خواهد کرد. پیشنهاد مطالعه حاضر برای مربیان و معلمان و همچنین والدین این است که از این روش به‌عنوان روش متفاوت و تمرینی کم‌هزینه و اثربخش و قابل‌اجرا در محیط خانه استفاده کنند. به‌علاوه پیشنهاد می‌شود با توجه به لذت‌بخشی و آسان‌بودن بازی در این محیط، چنین تجاربی به‌عنوان مکمل با برنامه‌های تفریحی و روزمره آمیخته شود تا از میزان کم‌تحرکی و بی‌تحرکی دختران نوجوان کاسته شود و به پیشرفت جنبه‌های مختلف آن‌ها کمک کند. نتایج مطالعه حاضر پیشنهادی برای کاهش یا حذف فعالیت‌های جسمانی نیست؛ بلکه به‌عنوان فعالیت‌های تکمیلی، موقت و ارزشمند به‌منظور فراهم‌کردن فرصتی برای بهبود عملکرد شناختی است؛ بنابراین با توجه به سودمندی مداخله معرفی‌شده، پیشنهاد می‌شود در جوامع مختلف مانند بیماران پارکینسونی، مولتیپل اسکروزیس، سالمندان و... کارآزمایی بالینی شود. همچنین پیشنهاد می‌شود، با توجه به قابلیت دستگاه کینکت تمرینات به‌صورت دونفره اجرا شود. در این حالت با صرف زمان کمتر و رقابتی‌کردن فعالیت، احتمال اثرگذاری تمرینات بیشتر خواهد شد. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی از نمونه آماری بیشتر استفاده شده و کارایی پروتکل در ابعاد گسترده‌تر و روی هر دو جنس انجام شود. همچنین کارایی این روش بر توسعه سایر عمکلرد–های حرکتی و شناختی بررسی شود.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه دکتری نویسنده مقاله است. از تمامی شرکت‌کننده‌های مطالعه حاضر و مسئولان محترم دانشگاه و همه کسانی که ما را در جمع‌آوری اطلاعات همراهی کردند، کمال تشکر و قدردانی را داریم.

منابع

1. Aghajani, S., Null, N., & Alizadeh Goradel, J. (2019). The effectiveness of Transcendental Direct Electric Stimulation (TDCS) on improving cognitive functions and problem solving skills of students. *Journal of School Psychology*, *7*(4), 20-38. (In Persian).
2. AminiMasouleh, M., Chalabianloo, G., & Abdi, R. (2021). Computer-assisted cognitive rehabilitation with and without unihemispheric concurrent dual-site a-tDCS and conventional tDCS on improving the response inhibition in patients with stroke. *Shenakht Journal of Psychology and Psychiatry*, *7*(6), 2-27. (In Persian).
3. AminiMasouleh, M., Chalabianloo, G., & Abdi, R. (2022). Comparison of cognitive rehabilitation efficacy based on computer-assisted cognitive rehabilitation with and without transcranial direct current stimulation (tDCS) on improving the working memory of stroke patients. *Neuropsychology*, *8*(1), 41-53. (In Persian).
4. AminiMasouleh, M., Ghazanfariyan Pour, S., & Beirami, M. (2019). Comparison of the effectiveness of different transcranial direct current stimulation protocols (tDCS) with cognitive exercises in improving response inhibition in normal individuals. *Shenakht Journal of Psychology and Psychiatry*, *6*(3), 1-14. (In Persian).
5. Andermo, S., Hallgren, M., Nguyen, T. T. D., Jonsson, S., Petersen, S., Friberg, M., & Elinder, L. S. (2020). School-related physical activity interventions and mental health among children: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine-Open*, *6*(1), 1-27.
6. Arkan, A., & Yaryari, F. (2014). The effect of transcranial direct current stimulation (TDCS) on the working memory in healthy people. *Journal of Cognitive Psychology*, *2*(2), 10-17. (In Persian).

7. Bashir, S., Bamugaddam, A., Alasheikh, M., Alhassan, T., Alhaidar, S., Almutairi, A. K., & Albaiji, B. A. (2022). Anodal transcranial direct current stimulation (tDCS) over the primary motor cortex (M1) enhances motor response inhibition and visual recognition memory. *Medical Science Monitor Basic Research*, *28*, e934180-934181.
8. BashiriMoosavi, F., Farmanbar, R., Taghdisi, M., & AtrkarRoshan, Z. (2015). Level of physical activity among girl high school students in Tarom county and relevant factors. *Iranian Journal of Health Education and Health Promotion*, *3*(2), 133-140. (In Persian).
9. Baumert, A., Buchholz, N., Zinkernagel, A., Clarke, P., MacLeod, C., Osinsky, R., & Schmitt, M. (2020). Causal underpinnings of working memory and Stroop interference control: testing the effects of anodal and cathodal tDCS over the left DLPFC. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, *20*(1), 34-48.
10. Benzing, V., Heinks, T., Eggenberger, N., & Schmidt, M. (2016). Acute cognitively engaging exergame-based physical activity enhances executive functions in adolescents. *PloS One*, *11*(12), e0167501.
11. Biddiss, E., & Irwin, J. (2010). Active video games to promote physical activity in children and youth: A systematic review. *Archives of Pediatrics & Adolescent Medicine*, *164*(7), 664-672.
12. Budde, H., Windisch, C., Kudielka, B. M., & Voelcker-Rehage, C. (2010). Saliva cortisol in school children after acute physical exercise. *Neuroscience Letters*, *483*(1), 16-19.
13. Chang, Y.K., Chu, C.-H., Wang, C.-C., Wang, Y. C., Song, T.-F., Tsai, C.-L., & Etnier, J. L. (2015). Dose–response relation between exercise duration and cognition. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *47*(1), 159-165.
14. Clark, V. P., Coffman, B. A., Mayer, A. R., Weisend, M. P., Lane, T. D., Calhoun, V. D., …, & Wassermann, E. M. (2012). TDCS guided using fMRI significantly accelerates learning to identify concealed objects. *Neuroimage*, *59*(1), 117-128.
15. Collange Grecco, L. A., de Almeida Carvalho Duarte, N., Mendonça, M. E., Galli, M., Fregni, F., & Oliveira, C. S. (2015). Effects of anodal transcranial direct current stimulation combined with virtual reality for improving gait in children with spastic diparetic cerebral palsy: a pilot, randomized, controlled, double-blind, clinical trial. *Clinical Rehabilitation*, *29*(12), 1212-1223.
16. Comeras-Chueca, C., Marin-Puyalto, J., Matute-Llorente, A., Vicente-Rodriguez, G., Casajus, J. A., & Gonzalez-Aguero, A. (2021). Effects of active video games on health-related physical fitness and motor competence in children and adolescents with overweight or obesity: systematic review and meta-analysis. *JMIR Serious Games*, *9*(4), e29981.
17. Cooper, S. B., Bandelow, S., Nute, M. L., Dring, K. J., Stannard, R. L., Morris, J. G., & Nevill, M. E. (2016). Sprint-based exercise and cognitive function in adolescents. *Preventive Medicine Reports*, *4*, 155-161.
18. Cooper, S. B., Dring, K. J., Morris, J. G., Sunderland, C., Bandelow, S., & Nevill, M. E. (2018). High intensity intermittent games-based activity and adolescents' cognition: Moderating effect of physical fitness. *BMC Public Health*, *18*(1), 1-14.
19. Cui, J., Li, L., & Dong, C. (2022). The associations between specific-type sedentary behaviors and cognitive flexibility in adolescents. *Frontiers in Human Neuroscience*, *16*, 910624.
20. De Melo Cerqueira, T. M., de Moura, J. A., de Lira, J. O., Leal, J. C., D'Amelio, M., & do Santos Mendes, F. A. (2020). Cognitive and motor effects of Kinect based games training in people with and without Parkinson disease: A preliminary study. *Physiotherapy Research International*, *25*(1), e1807.
21. 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*, 241-253.

22. Dumith, S. C., Gigante, D. P., Domingues, M. R., & Kohl III, H. W. (2011). Physical activity change during adolescence: a systematic review and a pooled analysis. *International Journal of Epidemiology*, *40*(3), 685-698.
23. Ellemberg, D., & St-Louis-Deschênes, M. (2010). The effect of acute physical exercise on cognitive function during development. *Psychology of Sport and Exercise*, *11*(2), 122-126.
24. Etemadi, M., Amiri, E., Tadibi, V., Grospretre, S., Valipour, V., & Machado, D. G. S. (2023). Anodal tDCS Over the DLPFC but not M1 increases muscle activity and improves psychophysiological responses, cognitive function, and endurance performance in normobaric hypoxia: A randomized controlled trial. *BMC Neuroscience*, *24*(1), 25.
25. Faal, R., & Ghassemi, F. (2017). Effects of virtual reality therapy on stroke rehabilitation in upper limbs: Systematic review and meta-analysis. *The Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*, *6*(3), 286-302. (In Persian).
26. Farič, N., Smith, L., Hon, A., Potts, H. W., Newby, K., Steptoe, A., & Fisher, A. (2021). A virtual reality exergame to engage adolescents in physical activity: Mixed methods study describing the formative intervention development process. *Journal of medical Internet Research*, *23*(2), e18161.
27. Foley, L., & Maddison, R. (2010). Use of active video games to increase physical activity in children: A (virtual) reality? *Pediatric Exercise Science*, *22*(1), 7-20.
28. Gabana, D., Tokarchuk, L., Hannon, E., & Gunes, H. (2017). Effects of valence and arousal on working memory performance in virtual reality gaming. In *2017 Seventh International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction* (ACII), pp. 36-41.
29. Gale, C. R., Batty, G. D., Tynelius, P., Deary, I. J., & Rasmussen, F. (2010). Intelligence in early adulthood and subsequent hospitalisation and admission rates for the whole range of mental disorders: Longitudinal study of 1,049,663 men. *Epidemiology*, *21*(1), 70.
30. Gallotta, M. C., Emerenziani, G. P., Franciosi, E., Meucci, M., Guidetti, L., & Baldari, C. (2015). Acute physical activity and delayed attention in primary school students. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *25*(3), e331-e338.
31. Gomez-Pinilla, F., & Hillman, C. (2013). The influence of exercise on cognitive abilities. *Comprehensive Physiology*, *3*(1), 403-428.
32. .Goodwill, A. M., Reynolds, J., Daly, R. M., & Kidgell, D. J. (2013). Formation of cortical plasticity in older adults following tDCS and motor training. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *5*, 87.
33. Guleyupoglu, B., Schestatsky, P., Edwards, D., Fregni, F., & Bikson, M. (2013). Classification of methods in transcranial electrical stimulation (tES) and evolving strategy from historical approaches to contemporary innovations. *Journal of Neuroscience Methods*, *219*(2), 297-311.
34. Hallal, P. C., Victora, C. G., Azevedo, M. R., & Wells, J. C (2006). Adolescent physical activity and health. *Sports Medicine*, *36*(12), 1019-1030.
35. Hirschfeld, L. A., & Gelman, S. A. (Eds.). (1994). *Mapping the mind: Domain specificity in cognition and culture*. Cambridge: Cambridge University Press.
36. Jäger, K., Schmidt, M., Conzelmann, A., & Roebers, C. M. (2015). The effects of qualitatively different acute physical activity interventions in real-world settings on executive functions in preadolescent children. *Mental Health and Physical Activity*, *9*, 1-9.
37. Jalili, F., Nejati, V., Ahadi, H., & Katanforosh, S. A. (2019). Effectiveness of computerized motion-based cognitive rehabilitation on improvement of working memory of children with ADHD. *Medical Science Journal of Islamic Azad Univesity-Tehran Medical Branch*, *29*(2), 171-180. (In Persian).
38. Kane, M. J., Conway, A. R., Miura, T. K., & Colflesh, G. J. (2007). Working memory, attention control, and the N-back task: A question of construct validity. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *33*(3), 615.

39. Karthikeyan, R., Smoot, M. R., & Mehta, R. K. (2021). Anodal tDCS augments and preserves working memory beyond time-on-task deficits. *Scientific Reports*, *11*(1), 19134.
40. Kim, Y. J., Ku, J., Cho, S., Kim, H. J., Cho, Y. K., Lim, T., & Kang, Y. J. (2014). Facilitation of corticospinal excitability by virtual reality exercise following anodal transcranial direct current stimulation in healthy volunteers and subacute stroke subjects. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, *11*, 1-12.
41. Kirchner, W. K. (1958). Age differences in short-term retention of rapidly changing information. *Journal of Experimental Psychology*, *55*(4), 352.
42. Kourakli, M., Altanis, I., Retalis, S., Boloudakis, M., Zbainos, D., & Antonopoulou, K. (2017). Towards the improvement of the cognitive, motoric and academic skills of students with special educational needs using Kinect learning games. International Journal of Child-Computer Interaction, *11*, 28-39.
43. Kruger, P. E., Campher, J., & Smit, C. E. (2009). The role of visual skills and its impact on skill performance of cricket players and sport science. African Journal for Physical Health Education, Recreation and Dance, *15*(4), 605-623.
44. Layne, T., Yli-Piipari, S., & Knox, T. (2021). Physical activity break program to improve elementary students' executive function and mathematics performance. Education, *49*(5), 583-591.
45. Lazzari, R. D., Politti, F., Santos, C. A., Dumont, A. J. L., Rezende, F. L., Grecco, L. A. C., & Oliveira, C. S. (2015). Effect of a single session of transcranial direct-current stimulation combined with virtual reality training on the balance of children with cerebral palsy: a randomized, controlled, double-blind trial. *Journal of Physical Therapy Science*, *27*(3), 763-768.
46. Moslemi, B., Azmodeh, M., Tabatabaei, M., & Alivandi Vafa, M (2019). The Effect of Transcranial Direct Current Stimulation on Dorsolateral Prefrontal Cortex: a Review of its Role on Cognitive Functions. *The Neuroscience Journal of Shefaye Khatam*, *8*(1), 129-144. (In Persian).
47. Pergher, V., Au, J., Shalchy, M. A., Santarnecchi, E., Seitz, A., Jaeggi, S. M., & Battelli, L. (2022). The benefits of simultaneous tDCS and working memory training on transfer outcomes: A systematic review and meta-analysis. *Brain Stimulation*, *15*(16), 1541-1551.
48. Rostami, S., Kalantari, M., Shafiee, Z., & Akbarzadeh Baghban, A. (2018). Effect of virtual reality games on upper extremity function in children with hemiplegic cerebral palsy. *The Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*, *7*(2), 52-57. (In Persian).
49. Sadock, B. J. (2015). *Sadock's synopsis of psychiatry: Behavioral sciences* (F. Rezaee, Trans) (11th ed.). Tehran: Arjmand Publication. (In Persian).
50. Saenz-de-Urturi, Z., & Garcia-Zapirain Soto, B. (2016). Kinect-based virtual game for the elderly that detects incorrect body postures in real time. *Sensors*, *16*(5), 704.
51. Sanchez-Martinez, J., Tapia-Tapia, D., Villagra-Ortega, A., Villegas-Arriagada, J., & Monteiro-Junior, R. (2023). Effect of active video games on cognitive functions in healthy children and adolescents. Systematic review of randomized controlled studies. *Journal of Movement & Health*, *20*(1), 1-16.
52. Satorres, E., Meléndez, J. C., Pitarque, A., Real, E., Abella, M., & Escudero, J. (2022). Enhancing immediate memory, potential learning, and working memory with transcranial direct current stimulation in healthy older adults. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(19), 12716.
53. Seidel, O., & Ragert, P. (2019). Effects of transcranial direct current stimulation of primary motor cortex on reaction time and tapping performance: A comparison between athletes and non-athletes. *Frontiers in Human Neuroscience*, *13*, 103.
54. Serrano, S. L., Ruiz-Ariza, A., De La Torre-Cruz, M., & López, E. J. M. (2021). Improving cognition in school children and adolescents

through exergames. A systematic review and practical guide. *South African Journal of Education*, *41*(1), 1-19.
55. Shabahang, A., Abedanzadeh, R., & Ramezanzadeh, H. (2019). The effect of transcranial direct current stimulation on the working memory. *Sport Psychology Studies*, *9*(31), 191-214. (In Persian).
56. Šlosar, L., De Bruin, E. D., Fontes, E. B., Plevnik, M., Pisot, R., Simunic, B., & Marusic, U. (2021). Additional exergames to regular tennis training improves cognitive-motor functions of children but may temporarily affect tennis technique: A single-blind randomized controlled trial. *Frontiers in Psychology*, *12*, 611382.
57. Soltani, E., Shareh, H., Bahrainian, S. A., & Farmani, A. (2013). The mediating role of cognitive flexibility in correlation of coping styles and resilience with depression. *Pajoohandeh Journal*, *18*(2), 88-96. (In Persian).
58. Soyata, A. Z., Aksu, S., Woods, A. J., İşçen, P., Saçar, K. T., & Karamürsel, S (2019). Effect of transcranial direct current stimulation on decision making and cognitive flexibility in gambling disorder. *European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience*, *269*, 275-284.
59. Stagg, C. J., & Nitsche, M. A. (2011). Physiological basis of transcranial direct current stimulation. *The Neuroscientist*, *17*(1), 37-53.
60. Staiano, A. E., & Calvert, S. L. (2011). Exergames for physical education courses: Physical, social, and cognitive benefits. *Child Development Perspectives*, *5*(2), 93-98.
61. Talsma, L. J., Kroese, H. A., & Slagter, H. A. (2017). Boosting cognition: Effects of multiple-session transcranial direct current stimulation on working memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *29*(4), 755-768.
62. Telama, R., Yang, X., Viikari, J., Välimäki, I., Wanne, O., & Raitakari, O. (2005). Physical activity from childhood to adulthood: a 21-year tracking study. *American Journal of Preventive Medicine*, *28*(3), 267-273.
63. 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 controls. *Frontiers in Psychiatry*, *2*, 45.
64. Vaseghi, B., Zoghi, M., & Jaberzadeh, S. (2015). The effects of anodal-tDCS on corticospinal excitability enhancement and its after-effects: Conventional vs. unihemispheric concurrent dual-site stimulation. *Frontiers in Human Neuroscience*, *9*, 533.
65. Verhoeven, K., Abeele, V. V., Gers, B., & Seghers, J. (2015). Energy expenditure during Xbox Kinect play in early adolescents: The relationship with player mode and game enjoyment. *Games for Health Journal*, *4*(6), 444-451.
66. Viana, R. T., Laurentino, G. E. C., Souza, R. J. P., Fonseca, J. B., Silva Filho, E. M., Dias, S. N., ..., & Monte-Silva, K. K. (2014). Effects of the addition of transcranial direct current stimulation to virtual reality therapy after stroke: A pilot randomized controlled trial. *NeuroRehabilitation*, *34*(3), 437-446.
67. Westwood, S. J., & Romani, C. (2018). Null effects on working memory and verbal fluency tasks when applying anodal tDCS to the inferior frontal gyrus of healthy participants. *Frontiers in Neuroscience*, *12*, 166.
68. Wing, V. C., Barr, M. S., Wass, C. E., Lipsman, N., Lozano, A. M., Daskalakis, Z. J., & George, T. P. (2013). Brain stimulation methods to treat tobacco addiction. *Brain Stimulation*, *6*(3), 221-230.
69. Zhidong, C., Wang, X., Yin, J., Song, D., & Chen, Z. (2021). Effects of physical exercise on working memory in older adults: A systematic and meta-analytic review. *European Review of Aging and Physical Activity*, *18*(1), 1-15.
70. Nejati, V. (2013). Correlation of risky decision making with executive function of brain in adolescences. *Journal of Research in Behavioural Sciences*, *11*(4), 270-278.