Motor Behavior

Sport Sciences Research Institute of Iran

Monthly Journal of Sport Psychology Studies

Fall 2023/ Vol. 15/ No. 53/ Pages 113-132

The Effect of Virtual Reality with and without Transcranial Direct - Current Stimulation on the Balance Performance of Sedentary Adolescent Girls

N. Shahbazi[1], A. Heyrani[2]*, E. Amiri[3], D. 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 (corresponding author)
3. Assistant Professor in Sports Physiology, Razi University, Kermanshah, Iran
4. Professor in Sports Physiology, Federal University of Rio Grande do Norte, Natal, Brazil

Received: 2023/04/19

Accepted: 2023/09/26

Shahbazi, N; Heyrani, A; Amiri, E; & Gomez Da Silva Machado, D; (2023). The Effect of Virtual Reality with and without Transcranial Direct -Current Stimulation on the Balance Performance of Sedentary Adolescent Girls. *Motor Behavior*, 15(53), 113-132. In Persian. DOI: 10.22089/MBJ.2023.14508.2085

Abstract

Today, although virtual reality is suggested as a suitable and exciting alternative to other training methods, all aspects of its effectiveness in combination with other interventions have not yet been well clarified. Therefore, our aim was to determine the effect of virtual reality with and without transcranial direct-current stimulation on balance performance. The research participants were 36 sedentary adolescent girls who were purposively selected and voluntarily participated in this study. The subjects were randomly divided into three control groups (12 people), VR+a-tDCS (12 people), and VR+sh-tDCS (12 people). First, each group received brain stimulation (anodal or sham) for 20 minutes with an intensity of 2 MA, then they performed virtual reality exercises for one hour. The control group did not receive any intervention. Each group conducted 12 sessions (3 sessions per week) with one day in between. Y and STROK tests were used to evaluate balance. The statistical test of the Two-way Mixed ANOVA was used at the significance level of 0.05 and SPSS23 software. Static balance in the anodal group was higher than the sham group (p=0.004) and control group (p=0.001). As well, the dynamic balance in the anodal group was higher than the sham group (p=0.013) and the control group (p<0.001). The findings showed that anodal stimulation can increase the effectiveness of virtual exercises more and more lastingly. This difference was maintained in the retention stage so that performance of the VR+a-tDCS group was superior to the other two groups.

Keywords: Transcranial Direct Current Stimulation of the Brain, Static Balance, Dynamic Balance, Sedentary Adolescent Girls, 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

Physical activity is a key factor in overall well-being, in particular during adolescence (1). It has been shown that girls are less involved in regular physical activity during adolescence leading to a considerable decrease in their functional capacity (2). Balance is an important factor in running a healthy life, optimizing exercise performance, and injury prevention. Recent findings have demonstrated that sedentary life style is associated with a decrease in static and dynamic balance (3). Accordingly, finding new, interesting, and effective strategies to increase the participation of adolescents in regular physical activity has been an area of interest lately. Virtual reality games or active video games have recently been gaining attention as an effective strategy in this regard (4). In addition, recent findings have also demonstrated that transcranial direct-current stimulation (tDCS), as a neuromodulatory technique, could improve static and dynamic balance (5). Since no study has evaluated the effect of concurrent use of these two strategies on balance in adolescent girls, this study aimed at investigating the effects of 4 weeks concurrent application of virtual reality games and tDCS on static and dynamic balance 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); and 3) Control group (CG). Dynamic and Static balance of the right leg were measured at baseline using Y balance test and Stroke test, respectively. Then, VR+a-tDCS and VR+sh-tDCS were involved in 4 weeks of specified virtual reality games, three 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-week intervention and 2 weeks later, the dynamic and static balances were measured again under a similar condition. Two-way mixed ANOVA (3×3 factorial design, 3 groups and 3 time points) was used for statistical analysis.

Findings

The overall results of the present study are presented in *Table 1*. The results showed that there was a significant difference in the static balance of the right leg among the experimental groups after 4 weeks of intervention (*p= 0.002*). The pairwise comparisons revealed that the static balance in VR+a-tDCS was significantly higher than the that of the CG group (*p= 0.002*). The results also demonstrated a significant difference in the static balance of right leg among the experimental groups 2 weeks after the end of interventions phase (*p= 0.0001*). Pairwise comparisons indicated that the static balance in VR+a-tDCS was significantly higher than those of the VR+sh-tDCS and CG groups (*p= 0.0004; p= 0.0001, respectively*).

The study's results also revealed that there was a significant difference in the dynamic balance of the right leg among the experimental groups after 4 weeks of intervention (*p= 0.0001*). Pairwise comparisons showed that the dynamic balance in both VR+a-tDCS and VR+sh-tDCS groups was significantly higher than the dynamic balance in CG group (*p= 0.0001; p= 0.0001, respectively)*. Additionally, our results demonstrated that 2 weeks after the end of intervention, the dynamic balance

in VR+a-tDCS was significantly higher than the dynamic balance in VR+sh-tDCS (*p= 0.013*) and CG (*p= 0.0001*).

Table 1-The results of the study

Dependent Variable	Group(I)	Group(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	p-value
pre- test Static balance	VR+a-tDCS	VR+sh-tDCS	2.74055	1.58090	.237
		Control	-.64129	1.58090	.921
	VR+sh-tDCS	Control	-3.38184	1.58090	.117
post- test Static balance	VR+a-tDCS	VR+sh-tDCS	6.20167	3.88301	.293
		Control	15.15333	3.88301	.002
	VR+sh-tDCS	Control	8.95167	3.88301	.085
Retention Static balance	VR+a-tDCS	VR+sh-tDCS	18.79500	5.12107	.004
		Control	21.76000	5.12107	.001
	VR+sh-tDCS	Control	2.96500	5.12107	.846
pre- test Dynamic balance	VR+a-tDCS	VR+sh-tDCS	13.34792	6.15968	.111
		Control	7.66250	6.15968	.469
	VR+sh-tDCS	Control	-5.68542	6.15968	.657
post- test Dynamic balance	VR+a-tDCS	VR+sh-tDCS	10.84417	5.16625	.126
		Control	42.82083	5.16625	.000
	VR+sh-tDCS	Control	31.97667	5.16625	.000
Retention Dynamic balance	VR+a-tDCS	VR+sh-tDCS	16.28083	5.16218	.013
		Control	44.85000	5.16218	.000
	VR+sh-tDCS	Control	28.56917	5.16218	.000

Conclusion

The findings of the present study showed that the two experimental groups performed balance tasks better than the control group. Further, the virtual reality group with anodal stimulation showed better performance in balance test than the virtual reality group with sham stimulation. These results show that the anodal tDCS might have an additive and long-lasting impact on the effects of virtual reality on static and dynamic balance in sedentary adolescent girls. It seems that anodal stimulation of the target areas of the brain in the present study, probably via improving the ability of these areas for processing the sensory information coming from peripheral and central sources and changing the functional connections in the brain has been able to induce its favorable changes during the experimental phase. It leads to better and long-lasting effect on static and dynamic balance (6). On the other hand, the present study showed that the virtual reality group with sham stimulation performed better than the control group in the balance task. The neural network used during virtual reality exercises is quite similar to real movements (7). It seems that the virtual reality games are able

to induce its favorable changes through a process mediated by mirror neurons in the premotor cortex (8). In conclusion, it appears that virtual reality games are effective strategies to improve both static and dynamic balance in sedentary adolescent girls. In addition, using anodal tDCS alongside the virtual reality games could have an additive effect which might last for a longer period of time.

References

1. Hafsteinsson Östenberg A, Pojskić H, Gilic B, Sekulic D, Alricsson M. Physical fitness, dietary habits and substance misuse: a cross-sectional analysis of the associations in 7,600 swedish adolescents. Physical Activity and Health. 2022;6(1):26-37.
2. de Looze M, Elgar FJ, Currie C, Kolip P, Stevens GW. Gender inequality and sex differences in physical fighting, physical activity, and injury among adolescents across 36 countries. Journal of Adolescent Health. 2019;64(5):657-63.
3. Sarto F, Pizzichemi M, Chiossi F, Bisiacchi PS, Franchi MV, Narici MV, et al. Physical active lifestyle promotes static and dynamic balance performance in young and older adults. Frontiers in physiology. 2022:1724.
4. Prasertsakul T, Kaimuk P, Chinjenpradit W, Limroongreungrat W, Charoensuk W. The effect of virtual reality-based balance training on motor learning and postural control in healthy adults: a randomized preliminary study. Biomedical engineering online. 2018;17(1):1-17.
5. Baharlouei H, Saba MA, Yazdi MJS, Jaberzadeh S. The effect of transcranial direct current stimulation on balance in healthy young and older adults: A systematic review of the literature. Neurophysiologie Clinique. 2020;50(2):119-31.
6. Takai H, Tsubaki A, Sugawara K, Miyaguchi S, Oyanagi K, Matsumoto T, et al., editors. Effect of transcranial direct current stimulation over the primary motor cortex on cerebral blood flow: a time course study using near-infrared spectroscopy. Oxygen Transport to Tissue XXXVII; 2016: Springer.
7. Mao Y, Chen P, Li L, Huang D. Virtual reality training improves balance function. Neural regeneration research. 2014;9(17):1628.
8. Adamovich SV, Fluet GG, Tunik E, Merians AS. Sensorimotor training in virtual reality: a review. NeuroRehabilitation. 2009;25(1):29-44.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

رفتار حرکتی

پژوهشگاه تربیت‌بدنی

فصلنامه مطالعات روانشناسی ورزش

پاییز ۱۴۰۲، دوره ۱۵، شماره ۵۳، صفحه‌های ۱۳۲-۱۱۳

اثر واقعیت مجازی با و بدون تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای مغز بر عملکرد تعادلی 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 (نویسنده مسئول)

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; (2023). The Effect of Virtual Reality with and without Transcranial Direct -Current Stimulation on the Balance Performance of Sedentary Adolescent Girls. *Motor Behavior*, 15(53), 113-132. In Persian.

دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۱/۳۰

پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۷/۰۴

چکیده

امروزه واقعیت مجازی به‌عنوان جایگزین مناسب و پرهیجان در مقایسه با سایر روش‌های تمرینی پیشنهاد می‌شود، اما همه ابعاد اثرگذاری آن در ترکیب با سایر مداخلات هنوز به‌خوبی روشن نشده است؛ بنابراین هدف پژوهش حاضر، تعیین تأثیر واقعیت مجازی با و بدون تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای مغز بر عملکرد تعادلی بود. شرکت‌کنندگان ۳۶ دختران نوجوان کم‌تحرک بودند که به‌صورت هدفمند انتخاب و داوطلبانه در این مطالعه شرکت کردند. آزمودنی‌ها به‌صورت تصادفی به سه گروه کنترل (۱۲ نفر)، واقعیت مجازی + تحریک آنودال (۱۲ نفر) و گروه واقعیت مجازی + تحریکشم (۱۲ نفر) تقسیم شدند. ابتدا هر گروه تحریک مغز (آنودال یا شم) را به مدت ۲۰ دقیقه با شدت دو میلی‌آمپر دریافت کرد. سپس تمرینات واقعیت مجازی را یک ساعت انجام داد. گروه کنترل هیچ مداخله‌ای دریافت نکرد. هر گروه، ۱۲ جلسه (سه جلسه در هفته) به‌صورت یک روز در میان مداخله را اجرا کرد. برای ارزیابی تعادل، از آزمون Y و STROK استفاده شد. از آزمون آماری تحلیل واریانس دوراهه مرکب در سطح معناداری ۰/۰۵ و نرم‌افزار اس‌پی‌اس‌اس نسخه ۲۳ استفاده شد. مقادیر تعادل ایستا در گروه آنودال بیشتر از گروه شم (P=0.004) و گروه کنترل (P=0.001) بود. همچنین تعادل پویا در گروه آنودال بیشتر از گروه شم (P=۰/۰۱۳) و همچنین گروه کنترل (P<0.001) بود. الگوی یافته‌ها نشان داد، تحریک آنودال می‌تواند اثرگذاری تمرینات مجازی را بیشتر و ماندگارتر کند. این تفاوت در مرحله پیگیری حفظ شد؛ به‌گونه‌ای‌که عملکرد گروه تحریک آنودال در مقایسه با دو گروه دیگر برتری داشت.

واژگان کلیدی: تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای مغز، تعادل ایستا، تعادل پویا، دختران نوجوان کم‌تحرک، 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

نوجوانی دوره‌ای فشرده و حساس از تغییرات جسمی و روانی است که در آن روابط اجتماعی و توانایی‌های عاطفی و تحصیلی به‌طور هم‌زمان رشد می‌کنند (۱). یک عامل مهم و اثرگذار بر سلامت جسمی و روانی، به‌ویژه در دوران نوجوانی میزان فعالیت بدنی است (۲). متأسفانه سطح آمادگی جسمانی و فعالیت بدنی با افزایش سن کاهش می‌یابد (۳). علاوه بر این، گزارش شده است که شیوع فعالیت بدنی و سطح آمادگی قلبی عروقی وابسته به جنسیت است و بدیهی است که دختران کمتر از پسران درگیر فعالیت بدنی هستند (۴).

مطالعات همچنین نشان می‌دهند که رفتار فعالیت بدنی از کودکی تا بزرگسالی ادامه دارد. سطوح ناکافی فعالیت بدنی در دوران نوجوانی منجر به سطوح پایین فعالیت بدنی در بزرگسالی می‌شود که نشان می‌دهد رفتارهای فعال باید در سریع‌ترین زمان اتخاذ شود تا سبک زندگی سالم در سراسر جهان ترویج شود (۵). یکی از عوارض کم‌تحرکی در دوران نوجوانی که نقش مهمی در سلامت جسمانی افراد در سنین نوجوانی و بزرگسالی دارد، افت تعادل است (۶). کاهش تعادل و اختلال در عملکرد حرکتی باعث ایجاد کمردرد در نوجوانان و بزرگسالان می‌شود؛ به همین دلیل، نبود تعادل و اختلالات حرکتی در آینده یکی از مشکلات رایج دختران نوجوان است (۷)؛ بنابراین حفظ و تقویت تعادل نقش مهمی در پیشگیری از اختلالات حرکتی در نوجوانی دارد (۶). این افت در تعادل به دلیل بدترشدن شرایط سلامتی و زوال سیستم انتقال‌دهنده عصبی، توده عضلانی و قدرت است و این شرایط می‌تواند خطر سقوط در آینده را افزایش دهد (۸). افزایش فعالیت بدنی بر چندین جنبه ازجمله ثباتِ وضعیت بدن و پیشگیری از افتادن تأثیر مثبت دارد (۹)؛ بنابراین به‌کارگیری رویکرد مؤثر و جذاب برای نوجوانان و به‌ویژه دختران نوجوان کم‌تحرک به‌منظور بهبود عملکرد حرکتی، ضروری است. یکی از روش‌های مؤثر و جذاب در این زمینه، بازی‌های واقعیت مجازی (VR)[1] یا بازی‌های ویدیویی فعال[2] است که براساس نتایج مطالعات، احتمالاً در مقایسه با تمرین واقعی در زمینه تعادل اثرگذارتر هستند (۱۱، ۱۰، ۸).

امروزه بسیاری از کودکان و نوجوانان، بازهای ویدئویی بی‌تحرک را انجام می‌دهند و از آن لذت می‌برند؛ بنابراین احتمال دارد این روش توانایی افزایش فعالیت بدنی در نوجوانان کم‌تحرک را داشته باشد (۱۲). VR تجربه حسی مصنوعی ایجادشده با استفاده از فناوری دیجیتال است که حس ذهنی «آنجا بودن» را در اختیار کاربران قرار می‌دهد (۱۳). این فناوری به‌طور چشمگیری برای گسترش فعالیت بدنی و سلامت استفاده می‌شود و باعث صرف انرژی بیشتری می‌شود که از نظر شدت مشابه فعالیت بدنی با شدت خفیف تا متوسط است (۱۴). یافته‌ها نشان می‌دهد که آموزش VR می‌تواند قشر مغز را فعال کند و ظرفیت جهت‌گیری فضایی را بهبود بخشد؛ بنابراین قشر را برای کنترل تعادل و افزایش عملکرد حرکتی تسهیل می‌کند (۱۵). اخیراً برای پیشبرد اهداف یادگیری و بهبود در عملکرد حرکتی و شناختی در کنار VR از تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای[3] (tDCS) به‌عنوان یک ابزار جدید و مؤثر استفاده می‌شود (۱۸-۱۶). تحریک tDCS رایج‌ترین روش تعدیل‌کننده عصبی غیرتهاجمی است که به‌طور فزاینده‌ای در مطالعات مرتبط با ورزش در دو دهه گذشته بررسی شده است. این ابزار اثرات خود را با تغییر تحریک‌پذیری مناطق هدف در مغز از طریق جریان الکتریکی ضعیف (۰/۵ تا ۲ میلی‌آمپر) و با قرار دادن دو الکترود (آند و کاتد) به روشی خاص روی پوست سر بالاتر از ناحیه هدف ایجاد می‌کند. اثرات tDCS به‌طورکلی وابسته به

1. Virtual Reality
2. Active Video Games
3. Transcranial Direct Current Stimulation

قطبیت است که در آن تحریک کاتدی پتانسیل غشای زیرین را مهار می‌کند و تحریک آنودال افزایش را در تحریک‌پذیری غشاء نشان می‌دهد. نشان داده شده است که محل الکترود، اندازه الکترود، شدت تحریک، اندازه‌گیری عملکرد، مدت‌زمان تحریک و ویژگی‌های شرکت‌کنندگان نقش حیاتی در اثر tDCS بر عملکرد ورزشی دارند (۱۹). این روش ممکن است به تنظیم مثبت عصبی و تسهیلِ کسب و حفظ مهارت‌های حرکتی کمک کند. این روش هنگامی که با روش‌های دیگر مانند ورزش، فیزیوتراپی یا VR اجرا می‌شود، بهبودهای بیشتر و ماندگارتری در عملکرد حرکتی به جا خواهد گذاشت (۲۰). نتایج مطالعات نشان می‌دهد که tDCS آنودال روی قشر حرکتی اولیه[1] (M1) ممکن است تعادل پویا را در افراد جوان سالم بهبود بخشد (۲۱). همچنین قشر پیش‌پیشانی پشتی-جانبی[2] (DLPFC) با تخصیص منابع توجه برای حفظ کنترل وضعیتی درگیر است. درواقع تحریک این دو ناحیه (M1 و DLPFC) به‌صورت هم‌زمان می‌تواند تحریک‌پذیری قشری نخاعی را افزایش دهد (۲۲).

شواهد نشان می‌دهد که استفاده از tDCS می‌تواند تعادل را در افراد سالم بهبود بخشد (۲۳)؛ بااین‌حال مطالعاتی متناقضی وجود دارد که نشان می‌دهد tDCS تعادل ایستا را در افراد جوان بهبود نمی‌بخشد (۲۱)، اما کاسکی و همکاران دریافتند که ترکیب تحریک آندی tDCS بر M1 و تمرین تعادلی باعث بهبود تعادل می‌شود (۲۴).

ازآنجاکه جذابیت اصلی VR قابلیت بالقوه آن برای ایجاد تجربه‌های نزدیک به زندگی روزمره با کنترل تجربی تقریباً کامل است و با توجه به مؤثر بودن روش tDCS در افراد سالم و آسیب‌دیده، غیرتهاجمی بودن، گزارش نشدن عوارض دردناک، قیمت مناسب در مقایسه با سایر روش‌های تحریک مغزی و قابل‌حمل بودن آن، هدف پژوهش حاضر تعیین تأثیر مداخله VR با و بدون tDCS بر تعادل ایستا و پویای دختران نوجوانان کم‌تحرک بود. با توجه به مطالعات، VRو tDCS هرکدام به‌تنهایی دارای اثرات سودمندی در جوامع مختلف بر عملکرد حرکتی و شناختی هستند، اما اخیراً مطالعات انجام‌شده اثر ترکیبی VR و tDCS را بررسی کرده‌اند. این روش ترکیبی اثرات سودمندی بر افراد سالم و آسیب‌دیده نشان داده است. نتیجه مثبت این روش ترکیبی در بهبود وضعیت بدن (۲۵)، گام برداشتن (۱۷)، ریکاوری بعد از سکته مغزی (۱۶)، ارتقای مهارت (۲۶) و مدیریت درد (۲۷) در گروه‌های سنی مختلف 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 ابزار محرک و جذابی برای پیروی از پروتکل تمرینی ایجاد می‌کند. ترکیب VRو tDCS مداخله‌ای امیدوارکننده با اثرات مثبت است.

بنابراین در پژوهش حاضر به دنبال تعیین تأثیر ترکیب این دست از مداخلات تمرینی جدید و جذاب در نوجوانان بی‌تحرک هستیم؛ زیرا اثر احتمالی این روش‌های مداخله‌ای جذاب و نسبتاً جدید بر متغیرهای ضروری تعادل ایستا و پویا نشان داده شود و همچنین نگرانی‌های احتمالی افرادی که به‌واسطه بی‌تمرینی و نداشتن آمادگی، از مشارکت در برنامه‌های تمرینی واهمه دارند و از انجام آن طفره می‌روند، برطرف شود و به‌عنوان جایگزین یا حداقل پیش‌درآمدی برای ورود به عرصه فعالیت بدنی و کسب مهارت معرفی شود. فرض ما این است که ترکیب VR و tDCS به بهبودهای بیشتر و طولانی‌تر در تعادل ایستا و پویا نسبت به انجام تمرین یا VR به‌تنهایی منجر می‌شود. همچنین در نتیجه جست‌وجوهای ما، مطالعه‌ای یافت نشد که به تعیین تأثیر این مداخله ترکیبی بر تعادل ایستا و پویا دختران نوجوان کم‌تحرک بپردازد.

1. Primary Motor Cortex
2. Dorsolateral Prefrontal Cortex

روش پژوهش

مطالعه حاضر از نوع نیمه‌تجربی بود که با توجه به ماهیت اهداف و موضوع در زمره پژوهش‌های کاربردی قرار می‌گیرد. این پژوهش طی چهار هفته با دو گروه تجربی و یک گروه کنترل به‌صورت یک روز در میان (سه روز در هفته) انجام شد. 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 این کارآزمایی اجرا شد.

معیارهای ورود آزمودنی‌ها به پژوهش عبارت بودند از: ۱- تکمیل فرم رضایت‌نامه توسط والدین دختران نوجوان، ۲- دختران کم‌تحرک براساس پرسش‌نامه فعالیت بدنی، ۳-رعایت دامنه سنی ۱۵ تا ۱۸ سال، ۴- راست‌دست بودن افراد، ۵- داشتن دید طبیعی یا اصلاح‌شده. معیارهای منع ورود آزمودنی‌ها 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- داشتن هرگونه ضعف یا آسیب بدنی و ۷- توانایی‌نداشتن در تمام کردن جلسات آزمون و تمرین.

حجم نمونه با استفاده از نرم‌افزار G*Power نسخه ۳/۱ با اعمال توان آماری ۸۰ درصد، اندازه اثر ۳۵ درصد و سطح معناداری ۰/۰۵ و در نظر گرفتن آزمون آماری مدنظر (مقادیر F در آزمون آماری آنوای دوراهۀ مرکب ۳×۳[1]؛ عامل بین‌گروهی با ۳ سطح و عامل درون گروهی با ۳ 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 در سه گروه (هر گروه ۱۲ نفر) تقسیم‌بندی شد (۲۸)؛ بنابراین با توجه به ملاک‌های ورود به پژوهش، ۳۶ نوجوان دختر کم‌تحرک با روش نمونه‌گیری هدفمند انتخاب شدند و به‌طور تصادفی در سه گروه ۱۲ نفری گمارده شدند. گروه VR با تحریک آندی مغز، روزهای زوج و گروه VR با تحریک شم مغز، روزهای فرد در این مداخله شرکت کردند. در طول دوره تمرینی نوجوانان در فعالیت‌های 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 اندازه‌گیری شد.

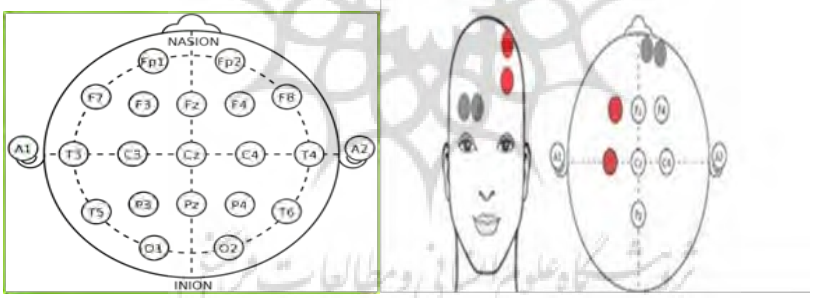
پیش‌آزمون در این پژوهش شامل سنجش تعادل ایستا و پویا بود. در این پژوهش از دو دستگاه ایکس باکس ۳۶۰ و کینکت (ساخته‌شده توسط شرکت آمریکایی مایکروسافت[2]) و دو دستگاه تحریک مغز استفاده شد. در گروه کنترل هیچ مداخله‌ای انجام نشد. در گروه VR با تحریک آندی مغز، نوجوانان تمرینات مشخص‌شده توسط دستگاه ایکس باکس 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 انتهای چهار هفته ادامه یافت. بعد از اتمام تمرینات، بلافاصله پس‌آزمون گرفته شد و برای سنجش میزان یادگیری بعد از دو هفته مجدداً آزمون تکرار شد (۳۰، ۲۹، ۱۰).

ابزارها و آزمون‌های استفاده‌شده در این مطالعه عبارت بودند از:

1. Two-way Mixed ANOVA
2. Microsoft

۱- در این پژوهش از تلویزیون ال‌جی ۴۷ اینچ، دستگاه ایکس باکس ۳۶۰ و کینکت ایکس باکس 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 (۳۱). در این پژوهش از مجموعه بازی‌های اسپورت کینکت ۱ و ۲ استفاده شد و متناسب با متغیرهای بررسی‌شده، چند بازی به‌عنوان تمرینات VR انتخاب شد؛

۲- تحریک مستقیم فراجمجمه‌ای مغز: در این مطالعه برای تحریک مغزی از دستگاه تحریک الکتریکی مغز دوکاناله مدل Neurostism2 ساخت شرکت مدیناطب در ایران، استفاده شد. دستگاه دو کانال مجزا دارد و هر کانال به‌طور جداگانه قابل‌تنظیم بوده و اعمال انواع تحریک ممکن است. دستگاه استفاده‌شده تنظیمات اعمال تحریک شم را نیز دارد. همچنین دارای هشداردهنده صوتی است که در زمان کنده‌شدن الکترودها از سر، بالارفتن مقاومت الکترودها، کم شدن شارژ باتری و تمام شدن جلسه به صدا درمی‌آید. برای تحریک از پد اسفنجی و محلول نمکی به‌منظور خیس کردن پدها استفاده می‌شود. شدت جریان از ۰/۱ تا ۲ میلی‌آمپر قابل‌تنظیم است. این ابزار تأییدشدهٔ جامعه عصب‌روان‌شناسی و کاردرمانی است و در تحقیقات مختلفی برای تحریک مغزی استفاده شده است (۳۲). الکترود آند (۲×۱.۵ سانتی متری) روی M1 ناحیه حرکتی و DLPFC چپ، به‌مدت 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 (۳۳)؛



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

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

۳- تست تعادل ایستا STROK: در این تست، نوجوانان روی کف پای برتر می‌ایستند و کف پای غیر برتر خود را روی طرف داخلی زانوی پای اتکا (پای برتر) قرار می‌دهند؛ به این صورت که انگشتان کاملاً رو به پایین قرار بگیرند. دست‌ها در طرفین کمر روی تاج خاصره قرار می‌گیرند و با فرمان محقق، آزمودنی چشمان خود را می‌بندد و پای غیر برتر را از زمین جدا می‌کند و سعی می‌کند تعادل خود را حفظ کند. در صورتی که تعادل آزمودنی به هردلیلی به هم بخورد یا مرتکب خطا شود، زمان قطع شده و رکورد افراد ثبت می‌شود. جانسون و نلسون پایایی خوبی برای این آزمون (۰/۸۷) گزارش کردند (۳۴)؛

۴- برای سنجش تعادل پویا از دستگاه تعادل‌سنج Y استفاده شد. فرد در مرکز این دستگاه روی یک پا قرار می‌گیرد و با پای دیگر میله نشانگر را در حد امکان از مرکز دستگاه دور می‌کند. این دستگاه دارای سه جهت قدامی، خلفی داخلی و خلفی

خارجی است که فرد باید در هرکدام از این جهات حرکت را سه مرتبه بدون خطا انجام دهد و بعد از انجام حرکت روی دو پا بازگردد. انتخاب جهت حرکت توسط آزمونگر و به‌صورت تصادفی مشخص می‌شود. با توجه به اهمیت طول اندام تحتانی در این آزمون، ابتدا طول اندام سنجیده می‌شود سپس فاصله دستیابی در هر جهت (به‌صورت میانگین) تعیین می‌شود و در فرمول مدنظر وارد می‌شود و امتیاز فرد به دست می‌آید. $\frac{\text{فاصله دستیابی}}{\text{طول اندام}} \times ۱۰۰ =$ امتیاز (۳۵)؛

۵- پرسش‌نامه اندازه‌گیری فعالیت بدنی[1] (IPAQ): برای شناسایی دختران کم‌تحرک از پرسش‌نامه فعالیت بدنی استفاده شد. این پرسش‌نامه نسخه کوتاه‌شده پرسش‌نامه بین‌المللی فعالیت بدنی است و از روایی و پایای قابل قبولی برخوردار است (۳۶). دخترانی که در این پرسش‌نامه نمره کمتر از ۶۰۰ دریافت کردند، به‌عنوان دختران کم‌تحرک شناسایی شدند و در این پژوهش شرکت کردند؛

۶- کرونومتر: از این ابزار برای ثبت زمان طی‌شده در انجام تکلیف تعادل ایستا استفاده شد؛

۷- از ترازو برای سنجش وزن آزمودنی‌ها و از قدسنج برای سنجش قد آزمودنی‌ها استفاده شد.

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

نتایج

در ابتدا میانگین و انحراف استاندارد مربوط به سن، قد و وزن در آزمودنی‌ها به تفکیک هر گروه در جدول شماره یک ارائه شده است.

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

Table 1- Average age, height and weight in three groups (mean ± standard deviation)

گروه‌ها Groups	سن Age	قد Height	وزن (weight) پیش از مداخله before intervention	وزن (weight) بعد از مداخله after intervention	درصد تغییر Percentage change
آنودال Anodal	16/08 ± 1/00	159/00 ± 7/45	52/93 ± 8/21	52/15 ± 7/93	-1/398
شم Sham	15/75 ± 0/97	159/67 ± 5/88	55/79 ± 10/55	55/17 ± 10/29	-1/111
کنترل Control	16/17 ± 1/11	159/33 ± 5/50	55/80 ± 5/95	56/16 ± 5/74	0/645

1. International Physical Activity Questionnaire (IPAQ)

در ادامه میانگین و انحراف استاندارد مربوط به تعادل ایستا پای راست آزمودنی‌ها به تفکیک گروه و مقاطع زمانی اندازه‌گیری در جدول شماره دو ارائه شده است.

جدول ۲- میانگین مقادیر تعادل ایستا (زمان به ثانیه) در سه گروه به تفکیک زمان اندازه‌گیری (میانگین ± انحراف استاندارد)

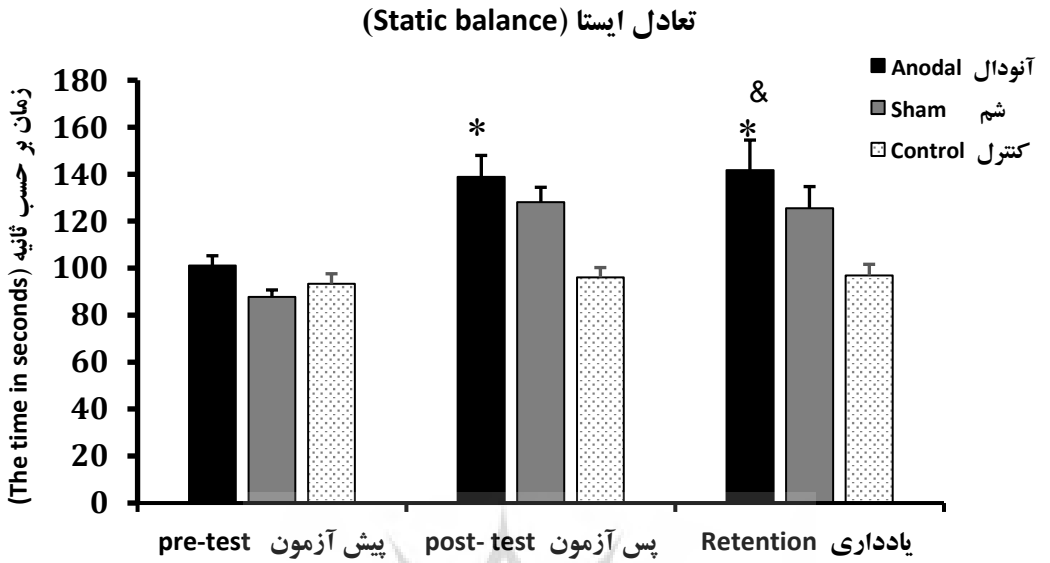
Table 2- Average values of static balance (time in seconds) in three groups by measurement time (mean (± standard deviation)

گروه(Groups)	پیش‌آزمون (Pre-Test)	پس‌آزمون (Post-Test)	پیگیری (Retention)
آنودال (Anodal)	8/75 ± 4/23	24/90 ± 12/78	31/93 ± 20/66
شم (Sham)	6/01 ± 3/02	18/7 ± 9/26	13/13 ± 5/16
کنترل (Control)	9/39 ± 4/23	9/75 ± 4/73	10/17 ± 4/32

با توجه به تأیید پیش‌فرض طبیعی بودن توزیع داده‌ها در متغیر تعادل ایستا پای راست بر مبنای نتایج آزمون آماری شاپیرو-ویلک (P>۰/۰۵)، به منظور تجزیه و تحلیل یافته‌های این متغیر از آزمون آماری آنوای دوراهه مرکب (۳ × ۳؛ عامل زمان با ۳ سطح و عامل گروه با ۳ سطح) استفاده شد. پیش‌فرض همگنی واریانس داده‌ها با به‌کارگیری آزمون آماری لون بررسی و تأیید شد (P>۰/۰۵). نتایج نشان داد که اثر تعامل بین زمان و گروه (P=۰/۰۰۰۱؛ F=۹/۸)، اثر گروه (P=۰/۰۰۰۱؛ F=۸/۷۶) و همچنین اثر زمان (P=۰/۰۰۱؛ F=۲۴/۶) در متغیر تعادل ایستای پای راست از لحاظ آماری معنادار بود.

با توجه به معنادار بودن اثر تعامل، اثر ساده گروه و زمان به‌ترتیب با استفاده از آزمون آماری آنوای یک‌راهه و آزمون آماری آنوای یک‌راهه با اندازه‌گیری‌های تکراری بررسی شد. نتایج نشان داد، در مرحله پیش‌آزمون تفاوت معناداری بین میانگین تعادل ایستا بین سه گروه مداخله وجود نداشت (P=۰/۰۹۱؛ F=۲/۵۸)؛ درحالی‌که در مراحل پس‌آزمون (P=۰/۰۰۲؛ F=۷/۶۹) و پیگیری (P=۰/۰۰۱؛ F=۱۰/۶۲) تفاوت معناداری در میانگین تعادل ایستا بین گروه‌های مداخله وجود داشت. با توجه به وجود تفاوت معنادار بین گروه‌های مداخله، از آزمون تعقیبی شفه برای مقایسه‌های زوجی استفاده شد. نتایج نشان داد که در مرحله پس‌آزمون میانگین تعادل ایستا در گروه آنودال به‌طور معناداری بیشتر از گروه کنترل بود (P=۰/۰۰۲)؛ درحالی‌که در بین سایر گروه‌ها تفاوت معناداری مشاهده نشد (P>۰/۰۵). درنهایت، در مرحله پیگیری، میانگین تعادل ایستا در گروه آنودال به‌طور معناداری بیشتر از گروه شم (P=۰/۰۰۴) و گروه کنترل (P=۰/۰۰۲) بود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۲ - تغییرات تعادل ایستا در سه گروه مداخله به تفکیک مقاطع زمانی مختلف

*** = تفاوت معنادار با گروه کنترل&& = تفاوت معنادار با گروه شم**

Figure 2- Static balance changes in three intervention groups by different time periods
*** = Significant difference with the control group; & = Significant difference with the sham group**

روند تغییرات میانگین تعادل ایستا پای راست در سه گروه مداخله در مقاطع زمانی پیش‌آزمون، پس‌آزمون و آزمون پیگیری در شکل شماره دو ارائه شده است. براساس آزمون آماری آنوای یک‌راهه با اندازه‌گیری‌های تکراری در گروه آنودال، میانگین تعادل ایستا در مقاطع پس‌آزمون (P=۰/۰۰۳) و آزمون پیگیری (P=۰/۰۱۶) به‌طور معناداری بیشتر از مرحله پیش‌آزمون بود. در گروه شم نیز تعادل ایستا در مراحل پس‌آزمون و پیگیری (P=۰/۰۰۴) به‌طور معناداری بیشتر از مرحله پیش‌آزمون بود میانگین و انحراف استاندارد مربوط به تعادل پویا پای راست آزمودنی‌ها به تفکیک گروه و مقاطع زمانی اندازه‌گیری، در جدول شماره سه ارائه شده است.

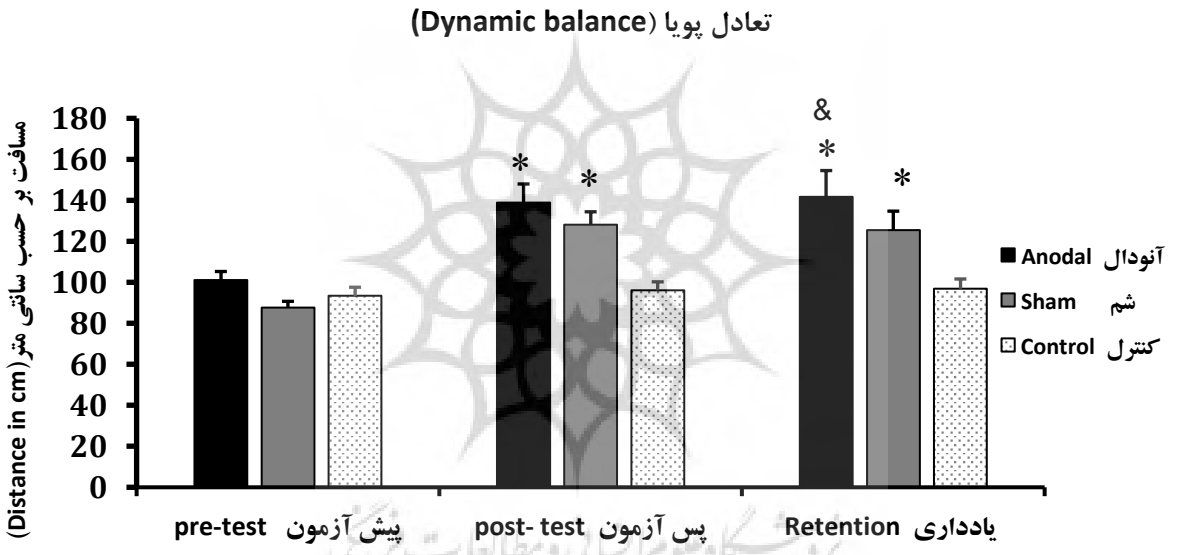
جدول ۳- میانگین مقادیر تعادل پویا (بر حسب سانتی‌متر) در سه گروه به تفکیک زمان اندازه‌گیری (میانگین ± انحراف استاندارد)

Table 3- Average values of dynamic balance (in centimeters) in three groups by measurement time (mean ± SD)

گروه(Groups)	پیش‌آزمون (Pre-Test)	پس‌آزمون (Post-Test)	پیگیری (Retention)
آنودال (Anodal)	101/05 ± 12/99	138/91 ± 10/93	141/74 ± 11/61
شم (Sham)	87/70 ± 15/85	128/06 ± 9/86	125/46 ± 8/44
کنترل (Control)	93/38 ± 16/20	96/09 ± 16/22	96/90 ± 16/53

نتایج آزمون آنوای دوراهه مرکب نشان داد، اثر تعامل بین زمان و گروه (P=۰/۰۰۱؛ F=۳۱/۹۲)، اثر گروه (P=۰/۰۰۱؛ F=۲۰/۹۲) و اثر زمان (P=۰/۰۰۱؛ F=۱۶۰/۸۰) بر متغیر تعادل پویای پای راست، از لحاظ آماری معنادار بود.

با توجه به معناداری اثر تعامل بین زمان و گروه، اثر تعامل، اثر ساده گروه و زمان به‌ترتیب با استفاده از آزمون آماری آنوای یک‌راهه و آزمون آماری آنوای یک‌راهه با اندازه‌گیری‌های تکراری بررسی شد. در مرحله پیش‌آزمون، تفاوت معناداری بین میانگین مقادیر تعادل پویا بین سه گروه مداخله وجود نداشت (P=۰/۱۱۰؛ F=۲/۳۶)؛ درحالی‌که در مراحل پس‌آزمون (P=۰/۰۰۱؛ F=۱۳/۳۷) و پیگیری (P=۰/۰۰۱؛ F=۳۸/۶۸) تفاوت معناداری در میانگین تعادل پویا بین گروه‌های مداخله وجود داشت. با توجه به وجود تفاوت معنادار بین گروه‌های مداخله، از آزمون تعقیبی شفه برای مقایسه‌های زوجی استفاده شد. نتایج نشان داد که در مرحله پس‌آزمون میانگین تعادل پویا در گروه آنودال به‌طور معناداری بیشتر از گروه کنترل بود (P<۰/۰۰۱). همچنین مشاهده شد که میانگین تعادل پویا در گروه شم نیز به‌طور معناداری بیشتر از گروه کنترل بود (P=۰/۰۰۲)، اما اختلاف میانگین بین دو گروه شم و آنودال معنادار نبود (P=۰/۱۲۶). در مرحله پیگیری، میانگین تعادل پویا در گروه آنودال به‌طور معناداری بیشتر از گروه شم (P=۰/۰۱۳) و گروه کنترل (P<۰/۰۰۱) بود. همچنین مشاهده شد که میانگین تعادل پویا در گروه شم به‌طور معناداری بیشتر از گروه کنترل بود (P<۰/۰۰۱).



شکل ۳- تغییرات تعادل پویا در سه گروه مداخله به تفکیک مقاطع زمانی مختلف

*** = تفاوت معنادار با گروه کنترل&& = تفاوت معنادار با گروه شم**

Figure 3- Dynamic balance changes in 3 intervention groups by different time periods
*** = Significant difference with the control group; & = Significant difference with the sham group**

براساس آزمون آماری آنوای یک‌راهه با اندازه‌گیری‌های تکراری در گروه آنودال، میانگین تعادل پویا در مقاطع پس‌آزمون و آزمون پیگیری (P=۰/۰۰۱) به‌طور معناداری بیشتر از مرحله پیش‌آزمون بود. در گروه شم نیز تعادل پویا در مراحل پس‌آزمون و پیگیری (P=۰/۰۰۱) به‌طور معناداری بیشتر از مرحله پیش‌آزمون بود.

بحث و نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر با هدف مقایسه مداخله VR با و بدون tDCS مغز در دو ناحیه M1 و DLPFC روی تعادل ایستا و پویا دختران نوجوان کم‌تحرک اجرا شد. یافته‌های مطالعه حاضر نشان داد که دو گروه آزمایشی در مقایسه با گروه کنترل تکالیف تعادلی را بهتر اجرا کردند و گروه VR همراه با تحریک آنودال در دو ناحیه هدف عملکرد بهتری در مقایسه با گروه VR همراه با تحریک شم داشت. این نتایج نشان می‌دهد که تحریک tDCS به‌صورت واقعی می‌تواند اثرگذاری تمرینات VR را بیشتر و ماندگارتر کند. این تفاوت در مرحله پیگیری حفظ شد و عملکرد گروه تحریک آنودال در مقایسه با دو گروه دیگر برتری داشت. در مرحله نخست، نتایج این پژوهش نشان داد که تحریک آنودال مغز در مقایسه با تحریک شم اثر بخشی بهتری در تعادل داشت. درواقع اجرای بازی‌های VR بعد از تحریک آنودال در مقایسه با تحریک شم اثرگذارتر بود که با نتایج مطالعات یوسفی و همکاران (۳۷)، لازاری[1] و همکاران (۱۶)، گرکو[2] و همکاران (۱۷)، کیم و همکاران (۱۸) همخوانی دارد. مطابق با فرضیه سفتی عضلات مچ پا، تحریک آنودال مغز باعث فعال‌سازی پروجکشن‌های نزولی قشری نخاعی مغز می‌شود که موجب ثبات عضلات و مفصل مچ پا می‌شود؛ بنابراین tDCS منجر به تحریک‌پذیری شبکه نخاعی می‌شود و می‌تواند بر بهبود تعادل تأثیرگذار باشد.

در تبیین نتایج مربوط به برتری تعادل گروه تحریک آنودال در مقایسه با گروه شم می‌توان گفت که تحریک مغز می‌تواند باعث تغییر شکل‌پذیری عصبی شود که احتمالاً این قضیه با تغییر ارتباطات عملکردی در مغز انسان وابسته است (۳۸). این حالت باعث می‌شود جریان خون در منطقه تحریک‌شده افزایش یابد و درنتیجه میزان هموگلوبین در نقطه‌ای که ارتباط در آن تقویت می‌شود افزایش یابد. این حالت باعث کارکرد مناسب‌تر نسبت به محرک بیرونی می‌شود؛ بنابراین تعادل فرد نیز به دنبال این تغییرات بهبود می‌یابد (۳۹).

کاسکی[3] و همکاران به این نتیجه رسیدند که ترکیب tDCS بر M1 و تمرینات تعادلی منجر به پیشرفت سرعت راه رفتن، طول گام، تغییرپذیری طول دو گام و بهبود تعادل می‌ود (۲۴). در این مطالعه تحریک آنودال بر نواحی حرکتی و پیش‌حرکتی بررسی شد و تحریک به مدت یک هفته اجرا شد. ترکیب tDCS و تمرین سرعت راه رفتن، طول گام، تغییرپذیری طول گام و تعادل را بهبود بخشید. به‌طورکلی، تمرین در غیاب tDCS هیچ اثر درخورتوجهی را نشان نداد که نشان می‌دهد tDCS می‌تواند مکمل مؤثری برای تعادل باشد.

گرکو و همکاران مطالعه‌ای پایلوت به‌صورت دوسویه کور منتشر کردند. آن‌ها تأثیر tDCS آندی بر M1 به‌علاوه آموزش VR را روی ۲۰ کودک در گروه تجربی با شدت ۱ میلی‌آمپر به مدت ۲۰ دقیقه در دو هفته پی‌درپی به‌صورت پنج جلسه در هفته و درمجموع، ۱۰ جلسه بررسی کردند. ارزیابی‌ها نشان داد که در گروه مداخله بهبود بیشتری حاصل شد. درواقع tDCS آنودال به همراه VR می‌تواند ابزاری مفید برای بهبود راه رفتن در کودکان فلج‌مغزی باشد (۱۷). در مطالعه دوسوکور دیگر، لازاری و همکاران اثر بهبود یک‌جلسه‌ای tDCS آنودال به‌دنبال VR را در کودکان دایپلژی ۴ تا ۱۲ ساله مطالعه کردند. در این پژوهش از تحریک مغز با شدت جریان ۱ میلی‌آمپر و در مدت‌زمان ۲۰ دقیقه استفاده کردند. نتایج بهبود در تعادل را نشان داد (۱۶). تحریک آندی در تعدیل کردن شکل‌پذیری قشر حرکتی اولیه با استفاده از گیرنده گلوتامات، گابا، فاکتور نورون‌زایی مشتق‌شده

1. Lazzari
2. Grecco
3. Kaski

از مغز[1] (BDNF) و سازوکارهای مرتبط به کلسیم، اثرگذار است؛ درنتیجه تحریک آندی می‌تواند بر بهبود عملکرد اثرگذار باشد. همچنین با توجه به اینکه تغییرات ساختاری و عملکردی در قشر حرکتی می‌تواند تأثیر منفی بر راه رفتن و تعادل داشته باشد، تحریک این ناحیه می‌تواند باعث بهبود تعادل شود (۳۷). درواقع tDCS آنودال روی M1 با توجه به تغییرات ساختاری و عملکردی در قشر حرکتی ممکن است تعادل را بهبود بخشد (۲۱). همچنین DLPFC با تخصیص منابع توجه برای حفظ کنترل وضعیتی درگیر است (۴۰) و تحریک این دو ناحیه (M1 و DLPFC) به‌صورت هم‌زمان می‌تواند تحریک-پذیری قشری نخاعی را افزایش دهد (۲۲).

نتایج مطالعه حاضر با نتایج پژوهش کریگ و دوماس[2] هم‌راستا نبود (۴۱). نتایج مطالعه آن‌ها بهبود تعادل با استفاده از tDCS را نشان نداد. احتمالاً علت این تفاوت در مدت‌زمان اعمال تحریک، سایز پدها، و افراد مطالعه‌شده است. آن‌ها تأثیر بلافاصله tDCS را در یک روز مطالعه کردند؛ در حالی‌که در مطالعه حاضر، ۱۲ جلسه تحریک در دو ناحیه هدف اعمال شد. از سوی دیگر، آن‌ها از پد ۵۰ سانتی‌مترمربعی برای تحریک خط میانی قشر حرکتی (تحریک دو نیمکره هم‌زمان) استفاده کردند، ولی در این مطالعه از پد کوچکتر برای تحریک M1 و DLPFC استفاده شد.

در مطالعه چن[3] و همکاران، tDCS آنودال بر تعادل بزرگسالان جوان اثرگذار نبود (۴۲). یکی از علت‌های ناهمخوانی نتایج مطالعه حاضر با این پژوهش، احتمالاً شدت جریان یا مدت تحریک است. آن‌ها ۲۰ دقیقه تحریک روی M1 را با شدت جریان ۱ میلی‌آمپر در طول یک جلسه اعمال کردند، اما در پژوهشی دیگر، اثر تحریک آندی tDCS با جریان ۱ میلی‌آمپری بر تحریک‌پذیری اندام فوقانی آشکار شده بود. این مغایرت شاید به مکان تحریک مرتبط است. ناحیه وابسته به پا در M1 در مقایسه با ناحیه مرتبط به دست در قسمت مرکزی‌تر قرار دارد؛ بنابراین برای تحریک ناحیه مربوط به پا در M1 شدت جریان باید از ۱ میلی آمپر بیشتر شود (۴۳). در مطالعه حاضر از تحریک دو ناحیه به‌صورت هم‌زمان بهره بردیم که تحریک دو ناحیه به‌صورت هم‌زمان فعال‌سازی بیشتری را به دنبال دارد. القای بایشتر پتانسیل‌های فراخوانده‌شده حرکتی[4] در تحریک هم‌زمان یک نیمکره می‌تواند علت این فعال‌سازی باشد (۴۴).

از سوی دیگر پژوهش حاضر نشان داد، گروه VR با تحریک شم در مقایسه با گروه کنترل، در اجرای تکلیف تعادلی بهتر عمل کردند. نتایج مطالعه حاضر با مطالعات میراخوری و همکاران (۱۰)، جراحی و همکاران (۴۵)، دوریم تراکچی[5] و همکاران (۴۶) و مورونه[6] و همکاران (۱۱) هم‌راستا بود. با توجه به اینکه اوایل نوجوانی (۱۷-۱۲ سالگی) مرحله حیاتی رشد برای ارتقای فعالیت بدنی است، بازی‌های VR می‌تواند استراتژی مداخله‌ای امیدوارکننده‌ای برای مشارکت دادن نوجوانان در فعالیت بدنی باشد (۴۷). این بازی‌ها با توجه به جذابیت و پرهیجان بودن باعث درگیر شدن نوجوان با علاقه و اشتقیاق در فعالیت می‌شوند. به نظر می‌رسد، اجرای این بازی‌ها باعث تقویت مفصل مچ پا و عضلات اندام تحتانی می‌شود و درنتیجه تعادل بهبود می‌یابد. این بازی‌ها با پیشرفت نوجوان در مراحل بعدی سخت‌تر می‌شد و مسیرها و محیط مجازی در مراحل بالاتر تغییر می‌کرد و نوجوان با توجه به میزان توانایی خود می‌توانست مراحل دشوارتر و چالش‌برانگیزتر را انتخاب کند. همچنین در حین اجرای

1. Brain-Derived Neurotrophic Factor
2. Craig & Doumas
3. Chen
4. Motor-Evoked Potentials
5. Devrim Tarakci
6. Morone

بازی، نوجوان از عملکرد خود بازخورد دریافت می‌کرد. کینکت این قابلیت را دارد که تصویر ضبط‌شده را به‌عنوان بازخورد در اختیار کاربر قرار دهد و این بازخورد بصری بر اصلاح حرکت اثرگذار است.

همچنین این بازی‌ها چون در فضای گرافیکی اجرا شدند، محیط کاملاً امنی را ایجاد کردند و فرد بدون ترس از آسیب و با اعتمادبه‌نفس زیاد، تمرینات را دنبال می‌کرد. شبکه عصبی به‌کارگرفته‌شده در حین تمرینات مجازی مشابه با حرکات واقعی است. مبنای سلولی به‌کارگیری این تمرینات، شکل‌پذیری سیستم عصبی از طریق سامانه نورون‌های آینه‌ای[1] در قشرپیش حرکتی است؛ چون این رویه قادر به یکپارچه کردن مزیت‌های روش تمرینی، تصور حرکت، مشاهدهٔ آن و تقلید حرکتی است (۴۸)؛ بنابراین تکرار یک تمرین همراه با بازخورد بصری می‌تواند بر بهبود تعادل کودکان کم‌تحرک مؤثر باشد.

به نظر می‌رسد، به‌کارگیری پروتکل tDCS آنودی به‌صورت هم‌زمان روی M1 و DLPFC می‌تواند اثر تمرینات VR را افزایش دهد و عملکرد در تکالیف تعادلی را بهبود بخشد؛ بنابراین با توجه به سودمندی مداخله معرفی‌شده، پیشنهاد می‌شود در جوامع مختلف مانند بیماران مبتلا به پارکینسون، مولتیپل اسکروزیس، سالمندان و ... کارآزمایی بالینی شود. پیشنهاد می‌شود با توجه به قابلیت دستگاه کینکت، تمرینات به‌صورت دونفره اجرا شود. در این حالت با صرف زمان کمتر و رقابتی کردن فعالیت، احتمال اثرگذاری تمرینات بیشتر خواهد شد. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی از نمونه آماری بیشتر استفاده شود و کارایی پروتکل در ابعاد گسترده‌تر و روی هر دو جنس انجام شود. همچنین پیشنهاد می‌شود کارایی این روش بر توسعه سایر عملکردهای حرکتی و شناختی بررسی شود.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از رساله دکتری نویسنده اول مقاله است. از تمامی شرکت‌کنندگان در مطالعه حاضر، مسئولان محترم دانشگاه و همه کسانی که ما را در جمع‌آوری اطلاعات همراهی کردند، تشکر و قدردانی می‌کنیم.

منابع

1. Hafsteinsson Östenberg A, Pojskić H, Gilic B, Sekulic D, Alricsson M. Physical fitness, dietary habits and substance misuse: a cross-sectional analysis of the associations in 7,600 swedish adolescents. Physical Activity and Health. 2022;6(1):26-37.
2. Biddle SJ, Ciaccioni S, Thomas G, Vergeer I. Physical activity and mental health in children and adolescents: An updated review of reviews and an analysis of causality. Psychology of Sport and Exercise. 2019;42:146-55.
3. Dumith SC, Gigante DP, Domingues MR, Kohl III HW. Physical activity change during adolescence: a systematic review and a pooled analysis. International Journal of Epidemiology. 2011;40(3):685-98.
4. de Looze M, Elgar FJ, Currie C, Kolip P, Stevens GW. Gender inequality and sex differences in physical fighting, physical activity, and injury among adolescents across 36 countries. Journal of Adolescent Health. 2019;64(5):657-63.
5. Biddle SJ, Pearson N, Ross GM, Braithwaite R. Tracking of sedentary behaviours of young people: a systematic review. Preventive Medicine. 2010;51(5):345-51.
6. Jorabian A, Nejad SJ, Jafari F, Latifi N, Shahraki M, Hekmatipour N. The Effect of pilates exercise on the static balance of teenage female students. International Journal of Medical Investigation. 2022;11(4):115-21.

1 - Mirror Neurons

7. Brodsky JR, Lipson S, Bhattacharyya N. Prevalence of pediatric dizziness and imbalance in the United States. Otolaryngology–Head and Neck Surgery. 2020;162(2):241-7.
8. Prasertsakul T, Kaimuk P, Chinjenpradit W, Limroongreungrat W, Charoensuk W. The effect of virtual reality-based balance training on motor learning and postural control in healthy adults: a randomized preliminary study. Biomedical Engineering Online. 2018;17(1):1-17m
9. Skelton DA. Effects of physical activity on postural stability. Age and Ageing. 2001;30(suppl_4):33-9.
10. Mirakhori F, Pourazar M, Bagherzadeh F. Improvement of static balance through virtual reality practices in children with cerebral palsy. Journal of Sports and Motor Development and Learning. 2021;12(4):413-97.
11. Morone G, Tramontano M, Iosa M, Shofany J, Iemma A, Musicco M, et al. The efficacy of balance training with video game-based therapy in subacute stroke patients: a randomized controlled trial. BioMed research International. 2014;2014:580861.
12. Verhoeven K, Abeele VV, Gers B, Seghers J. Energy expenditure during Xbox Kinect play in early adolescents: The relationship with player mode and game enjoyment. Games for Health Journal. 2015;4(6):444-51.
13. Kim HJ, Lee JW, Choi G, Huh J, Han DH. Differences in Brain Activity and Body Movements Between Virtual Reality and Offline Exercise: Randomized Crossover Trial. JMIR Serious Games. 2023;11:e40421.
14. Foley L, Maddison R. Use of active video games to increase physical activity in children: a (virtual (reality? Pediatric Exercise Science. 2010;22(1):7-20.
15. Mao Y, Chen P, Li L, Huang D. Virtual reality training improves balance function. Neural Regeneration Research. 2014;9(17):1628.
16. Lazzari RD, Politti F, Santos CA, Dumont AJL, Rezende FL, Grecco LAC, et al. 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. 2015;27(3):763-8.
17. Collange Grecco LA, de Almeida Carvalho Duarte N, Mendonça ME, Galli M, Fregni F, Oliveira CS. 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. 2015;29(12):1212-23.
18. Kim YJ, Ku J, Cho S, Kim HJ, Cho YK, Lim T, et al. 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. 2014;11:1-12.
19. Etemadi M, Amiri E, Tadibi V, Grospretre S, Valipour V, Machado DGS. 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 Neurosci. 2023.;24(1):25.
20. Harris DM, Rantalainen T, Muthalib M, Johnson L, Duckham RL, Smith ST, et al. Concurrent exergaming and transcranial direct current stimulation to improve balance in people with Parkinson's disease: study protocol for a randomised controlled trial. Trials. 2018;19(1):1-13.
21. Baharlouei H, Saba MA, Yazdi MJS, Jaberzadeh S. The effect of transcranial direct current stimulation on balance in healthy young and older adults: A systematic review of the literature. Neurophysiologie Clinique. 2020;50(2):119-31.
22. Amini Masouleh M, Chalabianloo G, Abdi R. 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. 2022;8(28):41-53.
23. Behrangrad S, Zoghi M, Kidgell D, Jaberzadeh S. The effect of a single session of non-invasive brain stimulation on balance in healthy individuals: a systematic review and best evidence synthesis. Brain Connectivity. 2021;11(9):695-716.

24. Kaski D, Dominguez RO, Allum JH, Bronstein AM. Improving gait and balance in patients with leukoaraiosis using transcranial direct current stimulation and physical training: an exploratory study. Neurorehabilitation and Neural Repair. 2013;27(9):864-71.
25. Viana R, Laurentino G ,Souza R, Fonseca J, Silva Filho E, Dias S, et al. Effects of the addition of transcranial direct current stimulation to virtual reality therapy after stroke: a pilot randomized controlled trial. NeuroRehabilitation. 2014;34(3):437-46.
26. Clark VP, Coffman BA, Mayer AR, Weisend MP, Lane TD, Calhoun VD, et al. TDCS guided using fMRI significantly accelerates learning to identify concealed objects. Neuroimage. 2012;59(1):117-28.
27. Soler MD, Kumru H, Pelayo R, Vidal J, Tormos JM, Fregni F, et al. Effectiveness of transcranial direct current stimulation and visual illusion on neuropathic pain in spinal cord injury. Brain. 2010;133(9):2565-77.
28. Baumert A, Buchholz N, Zinkernagel A, Clarke P, MacLeod C, Osinsky R, et al. 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. 2020;20(1):34-48.
29. Tajik N. The effect of Concurrent cerebral transcranial direct current stimulation and neuromuscular coordination exercises on balance elderly people. Journal of Gerontology. 2019;4(3):53-44.
30. Bahrami S, Mousavi Sadati SK, Daneshjoo A. Effect of transcranial direct current stimulation and selected exercises on balance in children with developmental coordination disorder. The Scientific Journal of Rehabilitation Medicine. 2020;9(1):259-69.
31. Saenz-de-Urturi Z, Garcia-Zapirain Soto B. Kinect-based virtual game for the elderly that detects incorrect body postures in real time..Sensors. 2016;16(5):704.
32. Arastoo AA, Zahednejad S, Parsaei S, Alboghebish S, Ataei N, Ameriasl H. The effect of direct current stimulation in left dorsolateral prefrontal cortex on working memory in veterans and disabled athletes. Daneshvar Medicine .2020;26(6):25-32.
33. Stagg CJ, Nitsche MA. Physiological basis of transcranial direct current stimulation. The Neuroscientist. 2011;17(1):37-53.
34. Reiman MP, Manske RC. Functional testing in human performance. Champaign: Human Kinetics; 2009.
35. Shaffer SW, Teyhen DS, Lorenson CL, Warren RL, Koreerat CM, Straseske CA, et al. Y-balance test: a reliability study involving multiple raters. Military medicine. 2013;178(11):1264-70.
36. BashiriMoosavi F, Farmanbar R, Taghdisi M, AtrkarRoshan Z. Level of physical activity among girl high school students in Tarom county and relevant factors. Iranian Journal of Health Education and Health Promotion. 2015;3(2):133-40.
37. Yosephi MH, Ehsani F, Zoghi M, Jaberzadeh S. Multi-session anodal tDCS enhances the effects of postural training on balance and postural stability in older adults with high fall risk: primary motor cortex versus cerebellar stimulation. Brain Stimulation. 2018;11(6):1239-50.
38. Takai H, Tsubaki A, Sugawara K, Miyaguchi S, Oyanagi K, Matsumoto T, et al. editors. Effect of transcranial direct current stimulation over the primary motor cortex on cerebral blood flow: a time course study using near-infrared spectroscopy. In Oxygen Transport to Tissue XXXVII; 2016: Cham: Springer.
39. Ruohonen J, Karhu J. tDCS possibly stimulates glial cells. Clinical Neurophysiology. 2012;123(10):2006-9.
40. Teo WP, Goodwill AM, Hendy AM, Muthalib M, Macpherson H. Sensory manipulation results in increased dorsolateral prefrontal cortex activation during static postural balance in sedentary older adults: An fNIRS study. Brain and behavior. 2018;8(10):e01109.
41. Craig CE, Doumas M. Anodal transcranial direct current stimulation shows minimal, measure-specific effects on dynamic postural control in young and older adults: a double blind, sham-controlled study. PloS One. 2017;12(1):e0170331.
42. Chen T-Y, Hwang I-S, Chang G-C. Effects of transcranial direct current stimulation on balance in healthy adults. Physiotherapy. 2015;101:e229.

43. Sohn MK, Jee SJ, Kim YW. Effect of transcranial direct current stimulation on postural stability and lower extremity strength in hemiplegic stroke patients. Annals of Rehabilitation Medicine. 2013;37(6):759.
44. Vaseghi B, Zoghi M, Jaberzadeh S. The effects of anodal-tDCS on corticospinal excitability enhancement and its after-effects: conventional vs. unihemispheric concurrent dual-site stimulation. Frontiers in Human Neuroscience. 2015;9:533.
45. Jarrahi S, Abedanzadeh R, Doustan MR. The effect of eight-week interactive video games on the static and dynamic balance of male students. Neuropsychology. 2020;6(1):31-46.
46. Tarakci D, Ersoz Huseyinsinoglu B, Tarakci E, Razak Ozdincler A. Effects of Nintendo Wii-Fit® video games on balance in children with mild cerebral palsy. Pediatrics International. 2016;58(10):1042-50.
47. Farič N, Smith L, Hon A, Potts HW, Newby K, Steptoe A, et al. A virtual reality exergame to engage adolescents in physical activity: Mixed methods study describing the formative intervention development process. Journal of Medical Internet Research. 2021;23(2):e18161.
48. Adamovich SV, Fluet GG, Tunik E, Merians AS. Sensorimotor training in virtual reality: a review. NeuroRehabilitation. 2009;25(1):29-44.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی