MEJDS. 2024; 14:72.

Published online 2024 Sep. **Original Article**

Investigating the Effectiveness of Transcranial Direct Current Stimulation on Working Memory and Sports Performance of Teenage Gymnast Girls in Yazd City, Iran

Khorram M[1], *Sheikh M[2], Samadi H[3]

Author Address
1. PhD Student in Motor Development, Tehran University, Tehran, Iran;
2. PhD in Motor Development, Professor, Tehran University, Tehran, Iran;
3. PhD in Motor Learning, Assistant Professor, Yazd University, Yazd, Iran.
***Corresponding Author E-mail:** prosheikh@yahoo.com

Received: 2023 June 27; **Accepted:** 2023 July 16

Abstract

Background & Objectives: Sports performance is influenced by many cognitive, psychological, and physical factors. Reaching peak performance is one of the most important goals of athletes and coaches. Many studies show that it is possible to improve the performance of athletes by enhancing the executive functions of the brain. Executive functions impact motor learning because people progress by learning better motor and cognitive skills, and faster learning leads to faster progress in performance. Professional sports are characterized by constantly developing and reaching higher skills in their sport, which can affect their neuropsychological performance. Therefore, it is necessary to improve the nervous function and the ability of the brain to achieve optimal sports performance. So, this study aims to investigate the effectiveness of transcranial direct current stimulation (tDCS) on working memory and sports performance of teenage gymnast girls.

Methods: This study method was quasi–experimental with a pretest–posttest design and a control group. Among the 12– to 15–year–old skilled female gymnasts in Yazd Province, Iran, 24 qualified volunteers were included in the study in a simple random manner. Then, 12 were assigned to the intervention group and 12 to the control group. The inclusion criteria were as follows: the girl is a professional gymnast, aged 12 to 15 years, and lacks a chronic sports injury. The exclusion criteria included an absence of one session from tDCS and not completing the questionnaire during the study. Moreover, based on the individual report of the subject's companion and the subject herself and her medical record, it was ensured that they do not have any other convulsive and psychiatric diseases. The working memory by N–back Test (Kirchner, 1958) and sports performance by Sports Performance Questionnaire (Charbonneau et al., 2001) were assessed before and after electrical brain stimulation treatment. Data analysis was done using covariance analysis in SPSS version 17 software. The significance level of the tests was set at 0.05.

Results: The data analysis showed that the score on working memory test and sports performance among teenage gymnasts in the intervention group and after treatment increased significantly compared to the control group ($p<0.001$).

Conclusion: According to the findings, transcranial direct current stimulation of the brain can be used as a rehabilitation tool along with other training methods to improve athletes' working memory and sports performance.

Keywords: Transcranial direct current stimulation, Working memory, Sports performance, Adolescent gymnasts.

Copyright © 2024, MEJDS. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cited.

مجله مطالعات ناتوانی ۱۴۰۳؛ (۱۴):۷۲.

انتشار برخط شهریور ۱۴۰۳ مقاله پژوهشی اصیل

بررسی اثربخشی تحریک مستقیم الکتریکی فراجمجمه‌ای بر حافظهٔ کاری و عملکرد ورزشی دختران ژیمناست نوجوان شهر یزد

مستوره خرم[۱]، *محمود شیخ[۲]، حسین صمدی[۳]

توضیحات نویسندگان

۱. دانشجوی دکتری رشد حرکتی، دانشگاه تهران، تهران، ایران؛

۲. دکترای رشد حرکتی، استاد، دانشگاه تهران، تهران، ایران؛

۳. دکترای یادگیری حرکتی، استادیار، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

***رایانامهٔ نویسندهٔ مسئول:** prosheikh@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۶تیر۱۴۰۲؛ **تاریخ پذیرش:** ۲۵تیر۱۴۰۲

چکیده

زمینه و هدف: با توسعهٔ کارکردهای شناختی ازطریق مداخلات هدفمند، می‌توان ورزشکاران را برای مقابله با موقعیت‌های فشارزا بدون‌کاهش عملکرد، آماده کرد. پژوهش حاضر باهدف بررسی اثربخشی تحریک مستقیم الکتریکی فراجمجمه‌ای بر حافظهٔ کاری و عملکرد ورزشی دختران ژیمناست نوجوان انجام شد.

روش‌بررسی: روش این مطالعه از نوع نیمه‌آزمایشی با طرح پیش‌آزمون و پس‌آزمون همراه با گروه گواه بود. از بین نوجوانان ۱۲تا۱۵ سال ژیمناست ماهر استان یزد، ۲۴ نفر داوطلب واجد شرایط به‌شکل تصادفی ساده وارد مطالعه شدند و با گمارش تصادفی دوازده نفر در گروه مداخله و دوازده نفر در گروه گواه قرار گرفتند. امتیازات متغیر حافظهٔ کاری به‌وسیلهٔ آزمون N-back (کریچنر، ۱۹۵۸) و متغیر عملکرد ورزشی به‌وسیلهٔ پرسش‌نامهٔ عملکرد ورزشی (چاربونیو و همکاران، ۲۰۰۱) در دو نوبت زمانی قبل و بعد از درمان تحریک الکتریکی مغز مقایسه شد. تحلیل داده‌ها بااستفاده از آزمون تحلیل کوواریانس در نرم‌افزار SPSS نسخهٔ ۱۷ صورت گرفت. سطح معناداری آزمون‌ها ۰/۰۵ بود.

یافته‌ها: نتایج نشان داد، امتیازات آزمون‌های حافظهٔ کاری و عملکرد ورزشی در نوجوانان ژیمناست در گروه مداخله بعد از دریافت درمان تحریک الکتریکی مغز درمقایسه با گروه گواه به‌طور معناداری افزایش پیدا کرد ($p<۰/۰۰۱$).

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش مشخص کرد، از تحریک مستقیم الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز می‌توان به‌عنوان پروتکلی مکمل برای بهبود حافظهٔ کاری و عملکرد ورزشی در ورزشکاران استفاده کرد.

کلیدواژه‌ها: تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز، حافظهٔ کاری، عملکرد ورزشی، نوجوانان ژیمناست.

حق انتشار محفوظ است © ۱۴۰۳، مجله مطالعات ناتوانی. این یک مقاله با دسترسی آزاد است که تحت مجوز اختیار_غیرتجاری ۴/۰ بین‌المللی (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.fa) منتشر شده است که به شما اجازه می‌دهد که مواد منتشر شده در این مقاله را با شرط ارجاع مناسب به نسخهٔ اصلی، به‌طور غیرتجاری نسخه‌برداری و توزیع کنید.

۱ مقدمه

عملکرد ورزشی[1] تحت‌تأثیر بسیاری از عوامل شناختی (مانند توانایی یادگیری، تصمیم‌گیری و خلاقیت)، عوامل روانی (مانند مدیریت هیجان، کنترل استرس و اضطراب) و عوامل جسمانی (مانند قدرت و استقامت عضلات) قرار دارد (۱). رسیدن به اوج عملکرد، از اهداف بسیار مهم ورزشکاران و مربیان است. قطعاً در آیندهٔ نزدیک رقابت بر سر مدیریت ذهنی ورزشکاران از تلاش برای بهبود وضعیت فیزیکی و جسمانی آنان پیشی می‌گیرد (۲).

در بسیاری از پژوهش‌ها مشخص شد، می‌توان به‌وسیلهٔ بهبود کارکردهای اجرایی[2] مغز، عملکرد ورزشکاران را ارتقا بخشید. کارکردهای اجرایی بر یادگیری حرکتی تأثیرگذار است؛ زیرا پیشرفت افراد در گروی یادگیری بهتر مهارت‌های حرکتی و شناختی است و یادگیری سریع‌تر موجب پیشرفت زودتر در عملکرد می‌شود (۳،۴). کارکردهای اجرایی مهارت‌های شناختی درجهٔ بالایی هستند که امکان کنترل و تنظیم از بالا به پایین فرایندهای فکری و اقدامات مرتبط را فراهم می‌کنند. دربارهٔ ساختار عملکردهای اجرایی به‌عنوان ساختاری واحد یا چندبُعدی، بحث وجود دارد. سه جزء عملکرد اجرایی در بزرگسالان عبارت است از: حافظهٔ کاری[3]/به‌روزرسانی[4]؛ کنترل بازدارنده[5]؛ انعطاف‌پذیری شناختی/تغییر توجه[6] (۵). حافظهٔ کاری، حافظهٔ فعال یا همان حافظهٔ کوتاه‌مدت است که در آن پردازش اطلاعات اتفاق می‌افتد؛ درواقع از ارکان اصلی‌تر و ابتدایی‌تر حافظه برای انجام فعالیت‌های شناختی است. به‌هنگام انجام فعالیتی مشخص وظیفهٔ حافظهٔ کاری نگهداری موقت اطلاعات لازم است (۶).

هرچه حافظهٔ کاری عملکرد بهتری داشته باشد، انسان می‌تواند در انجام محاسبات ذهنی، تصویرسازی‌های ذهنی[7] به‌خصوص در حل مسئله، درک صحبت‌های گفته‌شده، به‌خاطرسپاری و به‌یادآوری آن‌ها سریع‌تر باشد (۷)؛ درواقع حافظهٔ کاری قوی یکی از شاخص‌ها در توانایی شناختی است که به‌منزلهٔ هستهٔ عملکردهای شناختی، بسیاری از عملکردهای عالی را هدایت می‌کند (۷). یوآن و همکاران بیان کردند، دورهٔ بلوغ برای سازمان‌دهی مادهٔ سفید، رشد قطر آکسون و ضخیم‌شدن غلاف‌های میلین حیاتی است که امکان رشد مهارت‌های حرکتی و شناختی و عاطفی را فراهم می‌کند. درزمینهٔ حافظهٔ کاری بااستفاده از آزمون N-back، افزایش درخورتوجه فعال‌سازی مغز را در ورزشکاران فوتبال پسر دبیرستانی ماهر گزارش کردند (۸).

عملکرد ورزشی ترکیبی پیچیده از عملکرد بیومکانیکی و عوامل احساسی و تکنیک‌های تمرینی است. عملکرد در یک زمینهٔ ورزشی مفهومی عمومی دارد که نشان‌دهندهٔ پیشرفت و تعالی ورزشکار است؛ جایی که یک ورزشکار عملکرد خود را به‌عنوان پیشرفت به‌سمت برتری یا موفقیت می‌سنجد. عملکرد ورزشی دارای چهار بُعد عمده است: مهارت؛ قدرت؛ استقامت؛ ریکاوری (۸). عملکرد سطح بالا در هر ورزشی مستلزم ترکیب مشخصه‌ای از این ابعاد است؛ اگرچه ورزش‌های انفرادی به‌طور گسترده‌ای در این تعادل تفاوت دارند (۹). کینسلا و همکاران گزارش کردند، قهرمانان ورزشی معمولاً دارای توانمندی‌های شناختی بهتری درمقایسه با افراد همسن خود هستند و سیستم عصبی آن‌ها معمولاً در قشر حرکتی و حسی مغز دارای سیناپس‌پذیری بیشتری است که می‌تواند از دلایل برتری آن‌ها درمقایسه با همنوعان باشد؛ البته نقش تمرینات عملی و باورهای آنان همراه با اعتمادبه‌نفس، در این زمینه تعیین‌کننده است (۱۰).

یکی از روش‌های بهبود مهارت‌های شناختی و عملکردی که در سال‌های اخیر محبوبیت فراوانی یافته، تحریک مستقیم الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز[8] برای تغییر فعالیت قشر مغزی است (۱۱). تحریک مستقیم الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز منجربه تعدیل نروترنسمیتری و میزان تحریک‌پذیری نورون‌ها در زیر ناحیهٔ الکترودها می‌شود و این امر کارایی سیناپس عصبی را اصلاح می‌کند (۱۲). در تحقیقات اخیر، پژوهش دربارهٔ اثرات تحریک مستقیم الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز بر عملکرد جسمانی و حافظهٔ کاری آغاز شده است و باتوجه به نقش برجستهٔ نواحی حرکتی و پیش‌حرکتی در گسترش خستگی فوق نخاعی، بیشتر مطالعات برای هدف قراردادن این نواحی تلاش کرده‌اند (۱۳،۱۴).

بسیاری از پژوهشگران معاصر با نقش مغز در تنظیم عملکرد ورزشی موافق هستند. با پیدایش روش‌های نوین تحریک مغزی، استفاده از این ابزار به‌عنوان روش تغییر و بهبود عملکرد مغزی بررسی شده است (۱۱). مسکوییتا و همکاران نشان دادند، تحریک مستقیم الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز باعث افزایش اثرات مفید یادگیری حرکتی و عملکرد حافظهٔ کاری می‌شود (۱۵). داسیلوا ماچادو و همکاران دریافتند، تحریک مستقیم الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز بر پاسخ‌های روانی‌فیزیولوژیک در ورزشکاران تأثیری ندارد و اثر تحریک مستقیم الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز در سایر نواحی مغز مانند قشر پیش‌پیشانی پشتی‌جانبی[9]، ممکن است نتایج متفاوتی ارائه دهد و باید توسط مطالعات آینده آزمایش شود (۱۶). موریا و همکاران در مطالعه‌ای با بررسی تعدیل تحریک‌پذیری قشر حرکتی مغز ناشی‌از تحریک مستقیم الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز در بیماران و ورزشکاران نتیجه گرفتند، شواهد علمی فزاینده‌ای وجود دارد که نشان می‌دهد تحریک مستقیم الکتریکی فراجمجمه‌ای، مغز را تعدیل می‌کند تا الگوهای جدیدی از فعالیت و بهبود عملکرد را در افراد ورزشکار و ناتوان ایجاد کند (۱۷). سیدل و راجرت دریافتند، تحریک مستقیم الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز بر عملکرد ورزشی ورزشکاران تأثیر می‌گذارد؛ بااین‌حال مطالعات بیشتری نیاز است تا مشخص شود آیا تحریک مستقیم الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز می‌تواند به افزایش توانایی‌های حرکتی در عملکرد سطح بالا کمک کند یا خیر (۱۸).

ورزش حرفه‌ای با این واقعیت مشخص می‌شود که ورزشکاران به‌طور دائم با پیشرفت و مهارت بیشتر در رشتهٔ ورزشی خود روبه‌رو هستند

---

1. Sports performance
2. Executive functions
3. Working memory
4. Updating
5. Inhibitory control
6. Cognitive flexibility/attention shifting
7. Mental imagery
8. transcranial Direct Current Stimulation
9. Dorsolateral prefrontal cortex

که می‌تواند بر عملکرد عصب‌روان‌شناسی[1] آن‌ها تأثیر بگذارد؛ بنابراین ارتقای عملکرد عصبی و توانایی مغز برای دستیابی به عملکرد ورزشی مطلوب ضروری است. ارتقای عملکرد ورزشی و مغزی ورزشکاران ازطریق تحریک مستقیم الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز، بسیار کم هدف مطالعه قرار گرفته است. براساس بررسی پژوهش‌های مختلف، کارایی تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز در ورزشکاران هنوز نامشخص است و نیاز به انجام تحقیقات بیشتر دارد (۱۷،۱۸)؛ همچنین مطالعه‌ای به بررسی اثربخشی تحریک مستقیم الکتریکی فراجمجمه‌ای بر حافظهٔ کاری و عملکرد ورزشی دختران ژیمناست نوجوان نپرداخته است؛ بنابراین، پژوهش حاضر باهدف بررسی اثربخشی تحریک مستقیم الکتریکی فراجمجمه‌ای بر حافظهٔ کاری و عملکرد ورزشی دختران ژیمناست نوجوان انجام شد.

۲ روش‌بررسی

روش این مطالعه از نوع نیمه‌آزمایشی با طرح پیش‌آزمون و پس‌آزمون همراه با گروه گواه بود. از بین نوجوانان ۱۲تا۱۵ سال ژیمناست ماهر استان یزد، ۲۴ نفر داوطلب واجد شرایط به‌شکل تصادفی ساده وارد مطالعه شدند و با گمارش تصادفی دوازده نفر در گروه مداخله و دوازده نفر در گروه گواه قرار گرفتند. معیارهای ورود آزمودنی‌ها به پژوهش عبارت بود از: دختر ورزشکار حرفه‌ای ژیمناست؛ محدودهٔ سنی ۱۲تا۱۵ سال؛ نداشتن آسیب ورزشی مزمن. ملاک‌های خروج آزمودنی‌ها از پژوهش شامل غیبت در یک جلسهٔ تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز و تکمیل‌نکردن پرسش‌نامه در طول پژوهش بود. افزون‌براین براساس گزارش فردی همراه بیمار و خود بیمار و پروندهٔ پزشکی وی، از وجودنداشتن بیماری‌های تشنجی و روان‌پزشکی دیگر آن‌ها اطمینان حاصل شد. خانواده‌ها فرم رضایت‌نامهٔ شرکت در پژوهش را تکمیل کردند.

برای جمع‌آوری داده‌ها ابزارهای زیر به‌کار رفت.

ـ دستگاه تحریک الکتریکی مستقیم از روی جمجمه: دستگاه استفاده‌شده دستگاه iOMED ساخت آمریکا (۲۰۱۱) بود که دارای دو الکترود با مساحت ۳۵ سانتی‌متر مربع آند و کاتد است. الکترودها در پدی آغشته به سالین قرار داده شدند تا رسانش الکتریکی صورت پذیرد و بتوانند جریان الکتریکی را به جمجمه منتقل کنند.

ـ آزمون N-back[2] : در این پژوهش برای بررسی حافظهٔ کاری شرکت‌کنندگان، آزمون N-back به‌کار رفت. این آزمون اولین‌بار در سال ۱۹۵۸ توسط کریچنر معرفی شد (۱۹). کانه و همکاران با ضرایب اعتبار در دامنهٔ بین ۰/۵۴ تا۰/۸۴ اعتبار زیاد آزمون را نشان دادند. روایی این آزمون به‌عنوان شاخص سنجش حافظهٔ کاری پذیرفتنی است (۲۰). در روش N-back هربار یک شرایطی (مثلاً یک عکس یا یک خانهٔ روشن از یک جدول یا یک صدای خاص) نمایش داده می‌شود و از فرد خواسته می‌شود اگر این شرایط برابر با شرایط مربوط به یک مرحلهٔ قبل است، روی یک دکمه کلیک کند. در این حالت اسم آزمون (۱ـback) می‌شود. در مراحل بالاتر، اگر شرایط با شرایط دو مرحلهٔ قبل (۲ـback) یا سه مرحلهٔ قبل (۳ـback) برابر است، باید آزمودنی اعلام کند. در پژوهش حاضر از شرایط ۲ـback استفاده شد و بررسی زمان پاسخ و تعداد کل پاسخ‌های صحیح برای حافظهٔ کاری صورت گرفت. قبل از شروع آزمون اصلی، آزمودنی مرحلهٔ یادگیری و تمرینی را پشت سر می‌گذارد و درصورت موفقیت وارد مرحلهٔ اصلی می‌شود. در این آزمون تعدادی محرک بینایی به‌طور متوالی روی صفحهٔ نمایشگر رایانه ظاهر می‌شود و آزمودنی باید درصورت تشابه هر محرک با محرک قبل یا درصورت تشابه‌نداشتن، کلید اختصاص داده‌شدهٔ صفحه‌کلید را فشار دهد (در ۲-back، چنانچه محرک ارائه‌شده با محرک دو تا قبل از خود مشابه باشد، آزمودنی کلید مشخص‌شده را فشار می‌دهد. درصورت مشابه‌بودن عدد با دو عدد قبلی، کلید ۱ و درصورت مشابهت‌نداشتن، کلید ۲ را فشار می‌دهد). در انتها نمرات زمان واکنش بااستفاده از ثانیه‌شمار و تعداد پاسخ‌های صحیح محاسبه می‌شود. نحوهٔ نمره‌دهی بدین‌ترتیب است که به‌ازای هر پاسخ صحیح، ۱ نمره توسط نرم‌افزار به آزمودنی تعلق می‌گیرد؛ درحالی‌که برای پاسخ غلط، نمره صفر است. زمان واکنش نیز توسط نرم‌افزار استخراج می‌شود. در حیطهٔ حافظهٔ کاری، به‌هنگام انجام این تکلیف، بیشترین میزان درگیری در عملکرد سیستم پردازشگر مرکزی[3] به‌وجود می‌آید. حافظهٔ کاری، سیستمی شناختی با ظرفیت محدود است که وظیفهٔ نگه‌داری موقت اطلاعات موجود را به‌منظور پردازش بر عهده دارد و برای استدلال، هدایت، تصمیم‌گیری و رفتار مهم است. در ایران این آزمون به‌عنوان آزمونی معتبر در مطالعات به‌کار رفت و اعتبار آن نشان داده شد. در ایران تقی‌زاده و همکاران، روایی ابزار را تأیید کردند و پایایی را با روش بازآزمایی ۹۳/۵ به‌دست آوردند (۲۱).

ـ پرسش‌نامهٔ عملکرد ورزشی[4] : به‌منظور بررسی عملکرد ورزشی، پرسش‌نامهٔ عملکرد ورزشی ساخته‌شده در سال ۲۰۰۱ توسط چاربونیو و همکاران به‌کار رفت (۲۲). پرسش‌نامه پنج سؤال در مقیاس لیکرت دارد و برای ارزیابی عملکرد ورزشکاران طراحی شده است و توسط مربی مربوط هر ورزشکار تکمیل می‌شود. نمرات به‌دست‌آمده از پنج سؤال، نمرات نهایی عملکرد ورزشکار را نشان می‌دهد. نمره‌دهی پرسش‌نامه در طیف پنج‌ارزشی لیکرت از بسیار ضعیف=۱ تا بسیار عالی=۵ است. جمع سؤالات در دامنهٔ ۵تا۲۵ است (۲۲). میانگین ضرایب پایانی پرسش‌نامه توسط چاربونیو و همکاران ۰/۷۱ گزارش شد (۲۲). علاوه‌براین در مطالعهٔ آقابابا و کاشی، ضرایب پایایی پرسش‌نامه ۰/۷۳ به‌دست آمد (۲۳). در پژوهش صالحیان و قدیری این پرسش‌نامه توسط پنج نفر از اساتید گروه تربیت‌بدنی تأیید شد و پایایی آن ازطریق آلفای کرونباخ ۶۸/۵درصد بود (۲۴).

ارزیابی اولیهٔ بیمار، روز اول و به‌مدت ۱/۵ ساعت صورت گرفت. همچنین پروندهٔ هر ورزشکار و افتخارات کسب‌شدهٔ وی، تکمیل شد. پروتکل درمانی استفاده‌شده در این پژوهش برای هر بیمار ده جلسهٔ درمانی بیست‌دقیقه‌ای ۲ میلی‌آمپری تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز در ناحیهٔ قشر پیش‌پیشانی پشتی‌جانبی بود؛ به‌نحوی‌که الکترود آندی در ناحیهٔ قشر پیش‌پیشانی پشتی‌جانبی چپ و الکترود کاتدی در ناحیهٔ قشر پیش‌پیشانی پشتی‌جانبی راست قرار گرفت. این نوع تحریک

[1]. Neuropsychology
[2]. N-back Test
[3]. Central executive system
[4]. Sports Performance Questionnaire

در مطالعات قبلی از نظر ایمنی تأییدشده بود (۱۷،۱۸). ناحیهٔ مدنظر برای تحریک ازطریق اندازه‌گیری سر به‌دست می‌آید. برای این کار معمولاً از سیستم ۱۰/۲۰ EEG[1] استفاده می‌شود.

قبل از انجام درمان، خانوادهٔ افراد نمونه فرم رضایت‌نامهٔ شرکت داوطلبانه در پژوهش را امضا کردند و به افراد اطمینان داده شد اطلاعات بالینی آن‌ها محرمانه خواهد ماند. سپس از افراد نمونه امتیاز حافظهٔ کاری به‌وسیلهٔ آزمون N-back (۱۹) و امتیاز عملکرد ورزشی به‌وسیلهٔ پرسش‌نامهٔ عملکرد ورزشی (۲۲) گرفته شد و ثبت نتایج در پرسش‌نامهٔ بیمار صورت گرفت. در جلسات بعدی که طبق برنامهٔ زمانی با افراد نمونه هماهنگ شد، افراد گروه مداخله ده روز مداوم، تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز را دریافت کردند. برای گروه گواه درحالت ساختگی دستگاه خاموش ماند (حالت شم). امتیازات متغیر حافظهٔ کاری به‌وسیلهٔ آزمون N-back (۱۹) و متغیر عملکرد ورزشی به‌وسیلهٔ پرسش‌نامهٔ عملکرد ورزشی (۲۲) بعد از درمان تحریک الکتریکی مغز در پروندهٔ بیمار ثبت شد. تحلیل داده‌ها بااستفاده از آزمون تحلیل کوواریانس در نرم‌افزار SPSS نسخهٔ ۱۷ صورت گرفت. سطح معناداری آزمون‌ها ۰/۰۵ بود.

۳ یافته‌ها

در این پژوهش، ۲۴ نوجوان ژیمناست ماهر، وارد مطالعه شدند. میانگین و انحراف معیار سنی افراد نمونه در گروه گواه ۲/۰۸±۱۳/۴۳ سال و در گروه مداخله ۱/۷۹±۱۲/۸۰ سال بود.

میانگین و انحراف معیار نمرات پیش‌آزمون و پس‌آزمون متغیرهای حافظهٔ کاری و عملکرد ورزشی در دو گروه مداخله و گواه به‌همراه نتایج تحلیل کوواریانس در جدول ۱ ارائه شده است. لازم به‌ذکر است، قبل از اجرای آزمون تحلیل کوواریانس پیش‌فرض‌های مربوط به آن بررسی شد. آزمون کلموگروف‌اسمیرنف نرمال‌بودن توزیع نمرات را نشان داد (p>۰/۰۵)؛ درضمن طبق آزمون لون، تساوی واریانس‌های نمرات دو گروه در پیش‌آزمون و پس‌آزمون حافظهٔ کاری و عملکرد ورزشی تأیید شد (p>۰/۰۵). همچنین پیش‌فرض مربوط به همگنی شیب رگرسیون برقرار بود (p= ۰/۲۷۶برای حافظهٔ کاری و p=۰/۴۷۱ برای عملکرد ورزشی).

جدول ۱. میانگین و انحراف معیار نمرات پیش‌آزمون و پس‌آزمون متغیرهای حافظهٔ کاری و عملکرد ورزشی به‌همراه نتایج آزمون تحلیل کوواریانس

حیطه	پیش‌آزمون			پس‌آزمون			مقایسهٔ پس‌آزمون		
	گروه	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	مقدار F	مقدار p	اندازهٔ اثر
حافظهٔ کاری (پاسخ صحیح)	مداخله	۵۷/۲۴	۶/۴۲	۷۴/۳۶	۸/۶۷	۰/۵۹۴	<۰/۰۰۱	۰/۶۲
	گواه	۶۱/۲۴	۶/۷۹	۶۲/۴۰	۷/۴۸			
حافظهٔ کاری (زمان واکنش)	مداخله	۷۸۹/۹۲	۱۵۶/۳۱	۶۲۱/۷۱	۱۴۳/۲۴	۰/۹۱۵	<۰/۰۰۱	۰/۵۵
	گواه	۸۱۲/۲۴	۱۶۴/۵۵	۸۲۰/۱۶	۱۷۱/۱۵			
عملکرد ورزشی	مداخله	۱۵/۳۱	۱/۷۷	۲۰/۷۴	۲/۵۳	۰/۵۸۱	<۰/۰۰۱	۰/۵۷
	گواه	۱۶/۱۲	۱/۸۲	۱۶/۲۶	۱/۳۵			

همان‌طورکه در جدول ۱ مشاهده می‌شود، در پس‌آزمون درمقایسه با پیش‌آزمون، میانگین گروه مداخله در حافظهٔ کاری (پاسخ صحیح) و عملکرد ورزشی افزایش یافت و در مؤلفهٔ زمان واکنش کاهش یافت؛ ولی در گروه گواه تفاوت درخورتوجهی دیده نشد. نتایج تحلیل کوواریانس با تعدیل اثر پیش‌آزمون نشان داد، بین گروه مداخلهٔ دریافت‌کنندهٔ تحریک الکتریکی مغز و گروه گواه بدون هیچ‌نوع مداخله‌ای، در پس‌آزمون، در میانگین حافظهٔ کاری و عملکرد ورزشی تفاوت معنادار وجود داشت (p<۰/۰۰۱)؛ یعنی این درمان باعث بهبود حافظهٔ کاری و عملکرد ورزشی در نوجوانان ژیمناست ماهر شد؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت، ده جلسهٔ درمانی بیست‌دقیقه‌ای ۲میلی‌آمپری تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز در ناحیهٔ قشر پیش‌پیشانی پشتی‌جانبی آند چپ/کاتد راست، بر بهبود حافظهٔ کاری و عملکرد ورزشی در نوجوانان ژیمناست ماهر اثر دارد. همچنین نتایج مربوط به اندازهٔ اثر نشان داد، ۶۲درصد از تفاوت بین گروه مداخله و گروه گواه در حافظهٔ کاری (پاسخ صحیح) ناشی‌از اجرای تحریک الکتریکی مغز بود. این میزان برای زمان واکنش حافظهٔ کاری ۵۵درصد و برای شدت عملکرد ورزشی ۵۷درصد بود.

۴ بحث

هدف این پژوهش، بررسی اثربخشی تحریک مستقیم الکتریکی فراجمجمه‌ای بر حافظهٔ کاری و عملکرد ورزشی دختران ژیمناست نوجوان بود. نتایج پژوهش حاضر نشان داد، تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز بر حافظهٔ کاری و عملکرد ورزشی دختران ژیمناست نوجوان تأثیر معناداری داشت و منجربه بهبود حافظهٔ کاری و عملکرد ورزشی در این نوجوانان شد. نتایج این پژوهش با مطالعات زیر همسوست: مسکوبیتا و همکاران دریافتند، تحریک مستقیم الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز باعث افزایش اثرات مفید یادگیری حرکتی و عملکرد حافظهٔ کاری می‌شود (۱۵)؛ موریا و همکاران نشان دادند، تحریک مستقیم الکتریکی فراجمجمه‌ای، مغز را تعدیل می‌کند تا الگوهای جدیدی از فعالیت و بهبود عملکرد را در افراد ورزشکار و ناتوان به‌وجود آورد (۱۷)؛ سیدل و راجرت بیان کردند، تحریک مستقیم الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز می‌تواند بر عملکرد ورزشی ورزشکاران تأثیر بگذارد (۱۸)؛ درضمن با نتایج مطالعهٔ دا سیلوا ماچادو و همکاران مبنی‌بر تأثیرنداشتن تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای در قشر پیشانی بر عملکرد ورزشی (۱۶) ناهمسوست.

[1]. Electroencephalogram

گروسبرگ عنوان کرد، قشر پیش‌پیشانی به بسیاری از فرایندهای شناختی و احساسی و تصمیم‌گیری‌های عالی شناختی کمک می‌کند؛ همچنین افکار هدفمند به‌سمت اهداف ارزشمند را کنترل می‌کند (۲۵). قشر پیش‌پیشانی پشتی‌جانبی نقش مهمی در عملکردهای شناختی و حافظهٔ کاری و مقاومت دربرابر تداخل عوامل حواس‌پرتی دارد. توانایی فیلترکردن این محرک‌های حواس‌پرتی برای عملکرد حافظهٔ کاری حیاتی است و تغییرات در ظرفیت حافظهٔ کاری در انسان منعکس‌کنندهٔ توانایی سرکوب فعال‌سازی فعالیت عصبی مرتبط با محرک‌های نامربوط خواهد بود (۲۶). قشر پیش‌پیشانی پشتی‌جانبی به ناحیهٔ حرکتی اولیه و ناحیهٔ حسی اولیه و غیره متصل می‌شود. عمدتاً در درک و پردازش شناختی، تصمیم‌گیری و عملکردهای اجرایی دارای نقش است و به‌طور انتخابی در پردازش احساسات و برانگیختگی نقش دارد؛ به‌همین دلیل به هدفی مهم در درمان‌های تحریک مغزی تبدیل شده است (۲۷).

موریا و همکاران گزارش کردند، تحریک مستقیم الکتریکی فراجمجمه‌ای، فعالیت خودبه‌خودی نورون را تسهیل یا مهار می‌کند که به‌نظر می‌رسد منجربه تعدیل تحریک‌پذیری قشر مغز و سازمان‌دهی مجدد نوروپلاستیک می‌شود. تحریک مستقیم الکتریکی فراجمجمه‌ای در ناحیهٔ پیش‌پیشانی پشتی‌جانبی در عملکرد حرکتی و یادگیری حرکتی به‌واسطهٔ ارتباطش با نواحی حرکتی لوب پیشانی، نقش مؤثری دارد (۱۷). ازآنجاکه ناحیهٔ پیش‌پیشانی پشتی‌جانبی دارای نقش بسیار مهمی در حافظهٔ کاری است، تحریک مستقیم الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز ازطریق تعدیل تحریک‌پذیری و تغییر در میزان نوترنسمیترهای گلوتامات و سروتونین، می‌تواند عملکرد این قسمت را در حافظهٔ کاری و متعاقب آن فرایندهای یادگیری بهبود بخشد (۱۱).

تصور می‌شود در طول تحریک، تحریک مستقیم الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز به‌طور غیرمستقیم تحریک‌پذیری نورون‌ها را با تأثیر موقت روی قطبیت غشاء تغییر می‌دهد. تحریک آندال باعث دپلاریزاسیون عصبی (افزایش فعالیت کانال یونی سدیم و کلسیم) می‌شود؛ اما تحریک کاتدی، هیپرپلاریزاسیون عصبی را در پی دارد (کاهش فعالیت کانال یونی سدیم و کلسیم) (۲۸).

درحالی‌که به‌نظر می‌رسد اثرات کوتاه‌مدت تحریک مستقیم الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز به تغییرات گذرا در پتانسیل غشاء بستگی دارد، اثرات پس از تحریک نتیجهٔ تغییرات طولانی‌مدت در قدرت سیناپسی است که می‌تواند اثرات درمان در دورهٔ پیگیری را اثبات کند. یک سازوکار محتمل که توسط آن تحریک مستقیم الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز امکان دارد برای تعدیل قدرت سیناپسی عمل کند، تقویت طولانی‌مدت است. تقویت طولانی‌مدت براساس اصل هبی[1] است که وقتی نورون‌های پیش‌سیناپسی و پس‌سیناپسی به‌طور مکرر باهم شلیک می‌شوند، تغییرات متابولیک رخ می‌دهد و باعث می‌شود شلیک یک نورون در آینده منجربه شلیک نورون دیگر شود. نتیجهٔ تقویت طولانی‌مدت، تغییرات پایدار در فعال‌سازی سیناپسی است که در طول چندین ماه یا حتی سال‌ها ادامه می‌یابد؛ این امر می‌تواند پایداری اثرات تحریک مستقیم الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز را در افراد ورزشکار و بیماران تضمین کند (۱۶).

اثرات تحریک مستقیم الکتریکی فراجمجمه‌ای نشان داد که نه‌تنها در ورزش، بلکه برای ارتقای توان‌بخشی فیزیکی و شناختی در شرایط پاتولوژیک حمایت‌کننده است. منطق این است که از تحریک مستقیم الکتریکی فراجمجمه‌ای آندی برای تحریک قشر حرکتی آسیب‌دیده یا از تحریک مستقیم الکتریکی فراجمجمه‌ای کاتدی برای مهار قشر حرکتی طرف مقابل و بهبود یادگیری حرکتی و مهارت‌های حرکتی استفاده شود (۲۷).

از جنبه‌های یادگیری حرکتی که ورزشکاران در آن برتری دارند، زمان‌بندی است. یادگیری زمان انجام یک عمل (و زمان پاسخ‌ندادن) و انجام آن بادقت (یعنی با کمترین تنوع ممکن) تقریباً در هر روش ورزشی مهم است. اگرچه تعداد مطالعات متمرکز بر جنبه‌های زمانی یادگیری حرکتی، هنوز کم است، شواهدی برای اثرات مفید تحریک مستقیم الکتریکی فراجمجمه‌ای بر زمان‌بندی حرکتی وجود دارد (۱۷)؛ برای مثال، رامف و همکاران آزمایش کردند که آیا تحریک قشر حرکتی اولیهٔ مغز باعث بهبود عملکرد در یک تکلیف رسیدن سریع به بازو می‌شود یا خیر. در این روش، شرکت‌کنندگان سالم باید پس از ارائهٔ یک سیگنال (نشانهٔ شنیداری) با بیشترین سرعت ممکن به یک شی برسند که این موضوع می‌تواند به افزایش توانایی حافظهٔ کاری مرتبط باشد (۲۷).

به‌نظر می‌رسد، تحریک الکتریکی ناحیهٔ پیش‌پیشانی پشتی‌جانبی به‌طور کیفی راهبردهای حرکتی مهارت‌های حرکتی ظریف را تغییر می‌دهد؛ این امر منجربه بهبود عملکرد ورزشی ورزشکاران می‌شود (۱۸). تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای با اثرگذاری بر مغز، فرایندهای شناختی را بهبود می‌بخشد و در کنترل بدن و رفتار حرکتی نیز ایفای نقش می‌کند؛ ازطرفی ورزشکاران همواره با شرایط پراسترس روبه‌رو می‌شوند و این شرایط ممکن است عملکرد آن‌ها را کاهش دهد؛ ازاین‌رو می‌توان با توسعهٔ کارکردهای شناختی ازجمله حافظهٔ کاری و بهبود یادگیری حرکتی ازطریق تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای، ورزشکاران را برای رویارویی با استرس‌آورهای مختلف، بدون کاهش عملکرد، آماده کرد (۱۶). علاوه‌براین لتاری و همکاران دریافتند، تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای به‌طور ویژه به ورزشکاران در بهبود کارکردهای شناختی و روانی و فیزیولوژیک کمک می‌کند تا برای اجرای مهارت‌ها و تکالیف شناختی (ادراک، برنامه‌ریزی، تصمیم‌گیری) آماده شوند و ازطرف‌دیگر برای عملکردهای مناسب فیزیکی و حرکتی (هدف‌گیری، پرتاب، دریافت و...) آمادگی بیشتری پیدا کنند (۲۹).

۵ نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد، ده جلسهٔ درمانی بیست‌دقیقه‌ای ۲میلی‌آمپری تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز در ناحیهٔ قشر پیش‌پیشانی پشتی‌جانبی آند چپ/کاتد راست منجربه بهبود حافظهٔ کاری و عملکرد ورزشی نوجوانان دختر ژیمناست ماهر می‌شود؛ بنابراین می‌توان از تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز به‌عنوان ابزاری توان‌بخشی در کنار سایر روش‌های تمرینی برای بهبود حافظهٔ کاری و عملکرد ورزشی ورزشکاران استفاده کرد.

[1]. Hebbian

۶ تشکر و قدردانی

از خانهٔ ژیمناستیک شهرستان یزد و تمامی عزیزانی که در انجام پژوهش یاری کردند، سپاسگزاری می‌شود.

۷ بیانیه‌ها

تأییدیهٔ اخلاقی و رضایت‌نامه از شرکت‌کنندگان

از تمامی افراد حاضر در این پژوهش، رضایت‌نامه گرفته شد. همچنین دربارهٔ محرمانه‌ماندن اطلاعات آن‌ها اطمینان خاطر داده شد؛ درضمن پژوهش حاضر دارای شناسهٔ کد اخلاق IR.YAZD.REC.1401.081 از کارگروه کمیتهٔ اخلاق دانشگاه یزد است.

رضایت برای انتشار

این امر غیرقابل اجرا است.

دردسترس‌بودن داده‌ها و مواد

در این پژوهش به افراد اطمینان داده شد اطلاعات آن‌ها محرمانه می‌ماند و تحلیل داده‌های آن‌ها به‌شکل گروهی صورت می‌گیرد؛ اما نویسندگان متعهد شدند امکان دسترسی به داده‌های اولیهٔ پژوهش را ازطریق لینک برای داوران و سردبیر محترم فراهم آورند.

تضاد منافع

این مقاله مستخرج از پایان‌نامهٔ مقطع دکتری علوم ورزشی و اصلاح حرکتی است. نویسندگان اعلام می‌کنند، هیچ‌گونه تضاد منافعی ندارند.

منابع مالی

تمامی منابع مالی این تحقیق توسط نویسندهٔ اول پژوهش و با هزینه‌های شخصی تأمین شده است.

مشارکت نویسندگان

اجرای همهٔ فرایندهای پژوهش و جمع‌آوری داده‌ها و آنالیز و تحلیل داده‌ها برعهدهٔ نویسندهٔ اول بود. نویسندهٔ دوم در طراحی مطالعه نقش داشت و تفسیر نتایج را انجام داد. نویسندهٔ سوم در طراحی مطالعه نقش داشت و جمع‌آوری داده‌ها و هماهنگی‌های لازم برای ارائهٔ آزمایش‌ها را انجام داد؛ همچنین تفسیر و بررسی صحت داده‌ها و نتایج تحقیق را بر عهده و در آن همکاری داشت. همهٔ نویسندگان نسخهٔ دست‌نوشتهٔ نهایی را خواندند و تأیید کردند.

References

1. Ramis Y, Torregrosa M, Viladrich C, Cruz J. The effect of coaches' controlling style on the competitive anxiety of young athletes. Front Psychol. 2017;8:572. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00572
2. Schubert MM, Astorino TA. A systematic review of the efficacy of ergogenic aids for improving running performance. J Strength Cond Res. 2013;27(6):1699–707. https://doi.org/10.1519/jsc.0b013e31826cad24
3. Safaei L, Youzbashi M. Comparison of the severity of obsession and working memory in children with obsessive compulsive disorder and healthy children. International Journal of Pediatrics. 2020;8(10):12275–84. https://doi.org/10.22038/ijp.2020.50337.4006
4. Contreras–Osorio F, Guzmán–Guzmán IP, Cerda–Vega E, Chiros–Ríos L, Ramírez–Campillo R, Campos–Jara C. Effects of the type of sports practice on the executive functions of schoolchildren. Int J Environ Res Public Health. 2022;19(7):3886. https://doi.org/10.3390/ijerph19073886
5. Gunzenhauser C, Nückles M. Training executive functions to improve academic achievement: tackling avenues to far transfer. Front Psychol. 2021;12:624008. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.624008
6. Hill AT, Fitzgerald PB, Hoy KE. Effects of anodal transcranial direct current stimulation on working memory: a systematic review and meta–analysis of findings from healthy and neuropsychiatric populations. Brain Stimul. 2016;9(2):197–208. https://doi.org/10.1016/j.brs.2015.10.006
7. Ebadi M, Hoseini F, Pahlevan F, Esmaeilzade Akhoundi M, Farhadi V, Asqari R. The effectiveness of transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) on working memory in patients with major depression. Journal of Arak University of Medical Sciences. 2017;20(5):38–47. http://jams.arakmu.ac.ir/article-1-5110-en.pdf
8. Yuan W, Dudley J, Barber Foss KD, Ellis JD, Thomas S, Galloway RT, et al. Mild jugular compression collar ameliorated changes in brain activation of working memory after one soccer season in female high school athletes. J Neurotrauma. 2018;35(11):1248–59. https://doi.org/10.1089/neu.2017.5262
9. Lin HH, Lin TY, Ling Y, Lo CC. Influence of imagery training on adjusting the pressure of fin swimmers, improving sports performance and stabilizing psychological quality. Int J Environ Res Public Health. 2021;18(22):11767. https://doi.org/10.3390/ijerph182211767
10. Kinsella EL, Ritchie TD, Igou ER. Lay perspectives on the social and psychological functions of heroes. Front Psychol. 2015;6:130. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00130
11. Sadler CM, Kami AT, Nantel J, Lommen J, Carlsen AN. Transcranial direct current stimulation over motor areas improves reaction time in parkinson's disease. Front Neurol. 2022;13:913517. https://doi.org/10.3389/fneur.2022.913517
12. Fertonani A, Miniussi C. Transcranial electrical stimulation: what we know and do not know about mechanisms. Neuroscientist. 2017;23(2):109–23. https://doi.org/10.1177/1073858416631966
13. Zamani G, Doostan MR. The effect of transcranial direct current stimulation on working memory and reaction time in athlete girls. Neuropsychology. 2018;3(10):51–62. [Persian] https://clpsy.journals.pnu.ac.ir/article_4357_26f873eed613107eb208fd8fb2c0021c.pdf

14. Au J, Smith–Peirce RN, Carbone E, Moon A, Evans M, Jonides J, et al. Effects of multisession prefrontal transcranial direct current stimulation on long-term memory and working memory in older adults. J Cogn Neurosci. 2022;34(6):1015–37. https://doi.org/10.1162/jocn_a_01839
15. Mesquita PHC, Lage GM, Franchini E, Romano–Silva MA, Albuquerque MR. Bi–hemispheric anodal transcranial direct current stimulation worsens taekwondo–related performance. Hum Mov Sci. 2019;66:578–86. https://doi.org/10.1016/j.humov.2019.06.003
16. da Silva Machado DG, Bikson M, Datta A, Caparelli–Dáquer E, Unal G, Baptista AF, et al. Acute effect of high–definition and conventional tDCS on exercise performance and psychophysiological responses in endurance athletes: a randomized controlled trial. Sci Rep. 2021;11(1):13911. https://doi.org/10.1038/s41598-021-92670-6
17. Morya E, Monte–Silva K, Bikson M, Esmaeilpour Z, Biazoli CE, Fonseca A, et al. Beyond the target area: an integrative view of tDCS-induced motor cortex modulation in patients and athletes. J Neuroeng Rehabil. 2019;16(1):141. https://doi.org/10.1186/s12984-019-0581-1
18. Seidel O, Ragert P. Effects of transcranial direct current stimulation of primary motor cortex on reaction time and tapping performance: a comparison between athletes and non–athletes. Front Hum Neurosci. 2019;13:103. https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00103
19. Kirchner WK. Age differences in short–term retention of rapidly changing information. J Exp Psychol. 1958;55(4):352–8. https://doi.org/10.1037/h0043688
20. Kane MJ, Conway ARA, Miura TK, Colflesh GJH. Working memory, attention control, and the N–back task: a question of construct validity. J Exp Psychol Learn Mem Cogn. 2007;33(3):615–22. https://doi.org/10.1037/0278-7393.33.3.615
21. Taghizade T, Nejati V, Mohammadzade A, Akbarzade Baghban A, Nejati VN. Evolution of auditory and visual working memory in primary school–aged children. Journal of Research in Rehabilitation Sciences. 2014;10(2):239–49. [Persian] https://jrrs.mui.ac.ir/article_16819_d8b3f2a36c118b4e169e21188aacf4ef.pdf
22. Charbonneau D, Barling J, Kelloway EK. Transformational leadership and sports performance: the mediating role of intrinsic motivation. Journal of Applied Social Psychology. 2001;31(7):1521–34. https://doi.org/10.1111/j.1559-1816.2001.tb02686.x
23. Aaghababa A, Kashi A. Effect of mindful meditation on the mindfulness' state, flow state and sport performance. Sport Psychology Studies. 2018;7(25):89–110. [Persian] https://doi.org/10.22089/spsyj.2018.5898.1626
24. Salehian MH, Qadiri S. Anticipation of emotion regulation and psychological well–being on athletic performance of professional and semi–professional athletes. Sport Psychology Studies. 2019;8(29):151–70. [Persian] https://doi.org/10.22089/spsyj.2019.7244.1770
25. Grossberg S. Desirability, availability, credit assignment, category learning, and attention: Cognitive-emotional and working memory dynamics of orbitofrontal, ventrolateral, and dorsolateral prefrontal cortices. Brain Neurosci Adv. 2018;2:2398212818772179. https://doi.org/10.1177/2398212818772179
26. Smucny J, Dienel SJ, Lewis DA, Carter CS. Mechanisms underlying dorsolateral prefrontal cortex contributions to cognitive dysfunction in schizophrenia. Neuropsychopharmacology. 2022;47(1):292–308. https://doi.org/10.1038/s41386-021-01089-0
27. Rumpf JJ, Dietrich S, Stoppe M, Fricke C, Weise D, Then Bergh F, et al. Compromised tDCS-induced facilitation of motor consolidation in patients with multiple sclerosis. J Neurol. 2018;265(10):2302–11. https://doi.org/10.1007/s00415-018-8993-6
28. Zettin M, Bondesan C, Nada G, Varini M, Dimitri D. transcranial direct–current stimulation and behavioral training, a promising tool for a tailor–made post–stroke aphasia rehabilitation: a review. Front Hum Neurosci. 2021;15:742136. https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.742136
29. Lattari E, Rosa Filho BJ, Fonseca Junior SJ, Murillo–Rodriguez E, Rocha N, Machado S, et al. Effects on volume load and ratings of perceived exertion in individuals' advanced weight training after transcranial direct current stimulation. J Strength Cond Res. 2020;34(1):89–96. https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000002434